

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

Chlazení vstřikovací formy  
Cooling of Injection Mold

Student:	Bc. Aleš Kolaja
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Zdeněk Noga, CSc.

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Aleš Kolaja**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství  
Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení  
Téma: Chlazení vstřikovací formy  
Cooling of Injection Mold

### Zásady pro vypracování:

Pro potřebu fy Kasko-formy s.r.o. navrhnete chlazení vstřikovací formy pro výrobu plastových dílů. Při zpracovávání 3D modelu konstrukčního návrhu zařízení respektujte prostorové možnosti formy. Pozornost věnujte zejména návrhu provedení chlazení a způsobu jeho řízení.

#### Proved'te:

1. Technickou zprávu s popisem funkce navrženého zařízení a potřebnými výpočty ve členění – seznam požadavků, funkční struktura, morfologická matice, orgánová a stavební struktura.

2. 3D model konstrukčního návrhu zařízení.

3. Výrobní výkresovou dokumentaci navrženého způsobu chlazení formy.

Rozsah výtahu z Diplomového projektu v textové části práce cca 5str., rozsah výkresové části min. 2A0.

### Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory.*

Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura.*

Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

HUBKA, V. *Konstrukční nauka.*

Zürich: Heurista, 1995. 105s. ISBN 80-90 1135-0-8.

*Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce.*

FS\_SME\_05\_003 verze: G

LITERÁRNÍ REŠERŠE – zpracovaná v rámci Diplomového projektu.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Noga, CSc.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014

---

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
*vedoucí katedry*



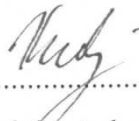
---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
*děkan fakulty*

### **Místopřísečné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

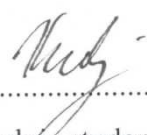
V Ostravě 19.5.2014

  
.....  
podpis studenta

### Prohlašuji, že

- ☐ jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- ☐ beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst.3).
- ☐ souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- ☐ bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- ☐ bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- ☐ beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 19.5.2014

  
.....  
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Aleš Kolaja

Kaunicova 329

Adresa trvalého pobytu autora práce:

687 61 Vlčnov

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval za cenné rady a připomínky firmě KASKO-Formy spol. s.r.o. a to vedoucímu konstrukce Ing. Richard Staněk, vedoucímu výroby Ing. Radomil Kolaja a vedoucímu mé diplomové práce, kterým je Ing. Zdeněk Noga, CSc.

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Bc. Kolaja A. *Chlazení vstřikovací formy : diplomová práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2014, 57 s.

Diplomová práce, vedoucí : Noga, Z.

Diplomová práce se zabývá řešením úpravy chlazení vstřikovací formy. Současný stav chlazení je nevyhovující a součást o průřezu U se zavírá z důvodu nedostatečného chlazení v místě ohybů.

## **ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS**

Bc. KOLAJA, A. *Cooling of injection mold : Diploma Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2014, 57 p. Thesis head: Noga, Z.

This thesis addresses the adjustment of injection mold cooling. The current status is unsatisfactory and cooling part of the cross section U is closed due to insufficient cooling in the bend.

# OBSAH

SEZNAM CIZÍCH SLOV .....	12
SEZNAM ZKRATEK A TERMÍNŮ .....	12
SEZNAM JEDNOTEK .....	13
1. ÚVOD .....	15
1.1 ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU .....	15
1.2 LITERÁRNÍ REŠERŠE.....	15
1.2.1 Vstřikovací forma.....	15
1.2.2 Složení formy .....	15
1.2.3 Rozdělení forem .....	16
1.2.4 Vtokový systém.....	17
1.2.5 Tvar, rozměry, umístění vtoku a ústí vtoku do dutiny ovlivňuje .....	17
1.2.6 Uspořádání vtokových systémů .....	17
1.2.7 Temperační systém.....	18
1.2.8 Úkol temperace .....	18
1.2.9 Složení temperačního systému .....	18
1.2.10 Výhody a nevýhody vody .....	18
1.2.11 Konformní chlazení:.....	19
1.2.12 DMLS - Direct Metal Laser Sintering.....	19
1.2.13 Vyhazovací systém:.....	20
a) Mechanické vyhazování .....	20
b) Vzduchové vyhazování.....	20



c) Hydraulické vyhazování .....	20
2. DOSAVADNÍ ŘEŠENÍ .....	21
2.1. Výstřik .....	21
3. SEZNAM POŽADAVKŮ .....	24
4. FUNKČNÍ STRUKTURA .....	24
4.1. Seznam funkcí .....	24
4.2. Hierarchické uspořádání .....	25
4.3. Blokové uspořádání .....	25
5. MORFOLOGICKÁ MATICE .....	26
6. ORGÁNOVÁ STRUKTURA .....	27
7. HRUBÁ STAVEBNÍ STRUKTURA .....	27
7.1 Konvenční chlazení .....	27
7.2 Změna materiálu .....	28
7.3 Metoda DMLS .....	28
8. ÚPLNÁ STAVEBNÍ STRUKTURA .....	29
8.1. Konvenční chlazení .....	29
8.1.1. Šíbr .....	30
8.1.2. Šikmý kolík .....	31
8.1.3 Vodící destička .....	31
8.1.4. Deska tvarová zadní .....	32
8.1.5. Opěrný klín .....	33

8.1.6. Deska tvarová přední.....	34
8.1.7. Opěrná deska .....	35
8.2. Změna materiálu - Albromet W130 .....	36
8.3. Metoda DMLS.....	37
9. VÝPOČTY .....	40
9.1. Tabulky hodnot .....	40
9.2. Výpočet součinitele přestupu tepla .....	41
Reynoldsovo číslo: .....	41
Tepelná vodivost: .....	41
Prandlovo číslo: .....	41
Vyjádření $\alpha$ pomocí dvou rovnic: .....	41
Součinitel přestupu tepla.....	41
10. SIMULACE TEČENÍ PLASTU .....	42
10.1. Podklady.....	42
10.2. Parametry vstřikování .....	43
10.2.1. Parametry plastu.....	43
10.2.2. Forma .....	43
10.2.3. Stroj.....	43
10.2.4. Vyhazovače.....	43
10.2.5. Plastikace .....	44
10.2.6. Vstřík.....	44
10.2.7. Dotlak.....	44
10.2.8. Teploty .....	44
10.2.9. Časy.....	44
10.2.10. Dávkování .....	44

10.3. Simulace tečení stávajícího stavu.....	45
10.4. Simulace tečení - konvenční chlazení .....	46
10.5. Simulace tečení - změna materiálu šíbru.....	48
10.6. Simulace tečení - metoda DMLS .....	49
10.7. Vyhodnocení simulací.....	50
11. NÁKLADOVÁ A RIZIKOVÁ ANALÝZA.....	51
11.1. Nákladová analýza .....	51
11.1.1. Šíbr - konvenční chlazení.....	51
11.1.2. Šíbr - Albromet W130.....	51
11.1.3. Šíbr - DMLS .....	52
11.1.4. Vodící destička.....	52
11.1.5. Deska tvarová zadní .....	52
11.1.6. Opěrný klín .....	52
11.1.7. Opěrná destička.....	53
11.1.8. Deska tvarová přední .....	53
11.1.9. Opěrná deska.....	53
11.2. Riziková analýza .....	53
12. ZÁVĚR.....	54
SEZNAM LITERATURY .....	55
SEZNAM ONLINE KATALOGŮ .....	55
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	56
SEZNAM TABULEK.....	57
SEZNAM PŘÍLOH .....	57

## SEZNAM CIZÍCH SLOV

<u>Česky</u>	<u>Anglicky</u>
Chlazení	Cooling
Vstřikovací	Injection
Forma	Mold
Temperační	Heads
Vtokový	Inlet
Vodící	Guide

## SEZNAM ZKRATEK A TERMÍNŮ

**DMLS** - Direct Metal Laser Sintering - Přímé Kovové Laserové Spékání

**Šíbr** - Jedná se o součástku, která uzavírá formu. Tato součást vytváří vnitřní profil součásti (materiál 1.1730)

**Tvarová vložka** - Jedná se o vložku, která spolu s šíbrem uzavírá tvarovou dutinu, kde se vstříkuje plast (materiál 1.2343, kaleno na  $50\pm 2$  HRC)

**Tvarová deska (přední, zadní)** - Jedná se o desky, v které jsou vloženy tvarové vložky (materiál 1.2312)

**Opěrný klín** - Jedná se o klín, který uzamyká šíbr při lisování, aby nedošlo k vysunutí šíbru z důvodu velkého lisovacího tlaku (materiál 1.2312)

**Opěrná destička klínu** - Jedná se o destičku, která slouží jako kontaktní destička mezi opěrným klínem a šíbrem (materiál 1.2343, kaleno na  $50\pm 2$  HRC)

**Opěrná deska** - Je zde pouze jako pomocná deska (je součástí rámu, materiál 1.1730)

## SEZNAM JEDNOTEK

<u>Název</u>	<u>Značka</u>	<u>Jednotka</u>
Čas	$\tau$	s
Hustota	$\rho$	$\text{kg.m}^{-3}$
Měrná tepelná kapacita	$c_p$	$\text{J.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$
Teplota	$t$	$^{\circ}\text{C}, \text{K}$
Rychlost	$v$	$\text{m.s}^{-1}$
Plocha	$S$	$\text{m}^2$
Měrná hmotnost	$\dot{m}$	$\text{kg.s}^{-1}$
Tepelný tok	$Q$	W
Tepelná vodivost	$\lambda$	$\text{W/m.K}$
Hmotnost výstřiku	$\dot{m}_p$	kg
Kinematická viskozita vody	$\nu_v$	$\text{m}^2/\text{s}$
Reynoldsovo číslo	Re	-
Nusseltovo číslo	Nu	-
Grashofovo číslo	Gr	-
Prandlovo číslo	Pr	-
Hydraulický průměr	$d_h$	m
Hustota tepelného toku	$q$	$\text{W/m}^2$
Maximální teplota vody	$t_{\max 1}$	$^{\circ}\text{C}$
Výpočtová teplota	$t_v$	$^{\circ}\text{C}$

Průřez kanálu	S	$\text{m}^2$
Konstanta	C	-
Rychlost proudění vody	w	$\text{m/s}$
Součinitel přestupu tepla	$\alpha$	-
Součinitel teplotní a objemové roztažnosti	$\beta$	-
Tepelná vodivost vody	$a_v$	$\text{m}^2/\text{s}$
Rozdíl teplot	$\Delta t$	$^{\circ}\text{C}$

# 1. ÚVOD

Mým úkolem je navrhnout úpravy chlazení vstřikovací formy tak, aby nedocházelo ke zavírání výlisku z důvodu nedostatečného chlazení. V této práci jsem se zabýval třemi způsoby jak upravit chlazení vstřikovací formy a to: úpravou otvorů chlazení (pouze upravení stávajícího stavu), změnou materiálu šíbru, vytvořením nového šíbru metodou DMLS.

Protože se jedná o úpravu chlazení vstřikovací formy, kde mám minimální prostor pro úpravu, tak použiji pro vytvoření práce metodiku konstruování, která mi pomůže při úpravě chlazení. Součástí metodiky konstruování je vytvoření seznamu požadavků, funkční struktury, morfologické matice, orgánové struktury a stavební struktury.

## 1.1 ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU

V současnosti je chlazení nedostatečné, protože v místě ohybu vznikají tepelné uzly, které mají za následek zavírání profilu výlisku. Jedno z prvních řešení úpravy, které mě napadlo je prodloužení doby dotlaku a chlazení. Tím, že zvětším dobu dotlaku a chlazení se výlisk dostatečně ochladí než dojde k vyhození. Avšak, aby došlo k dostatečnému ochlazení je třeba tuto dobu značně zvětšit a tím dojde ke zvýšení celkové doby cyklu a tím i ceny výlisku.

## 1.2 LITERÁRNÍ REŠERŠE

### 1.2.1 Vstřikovací forma

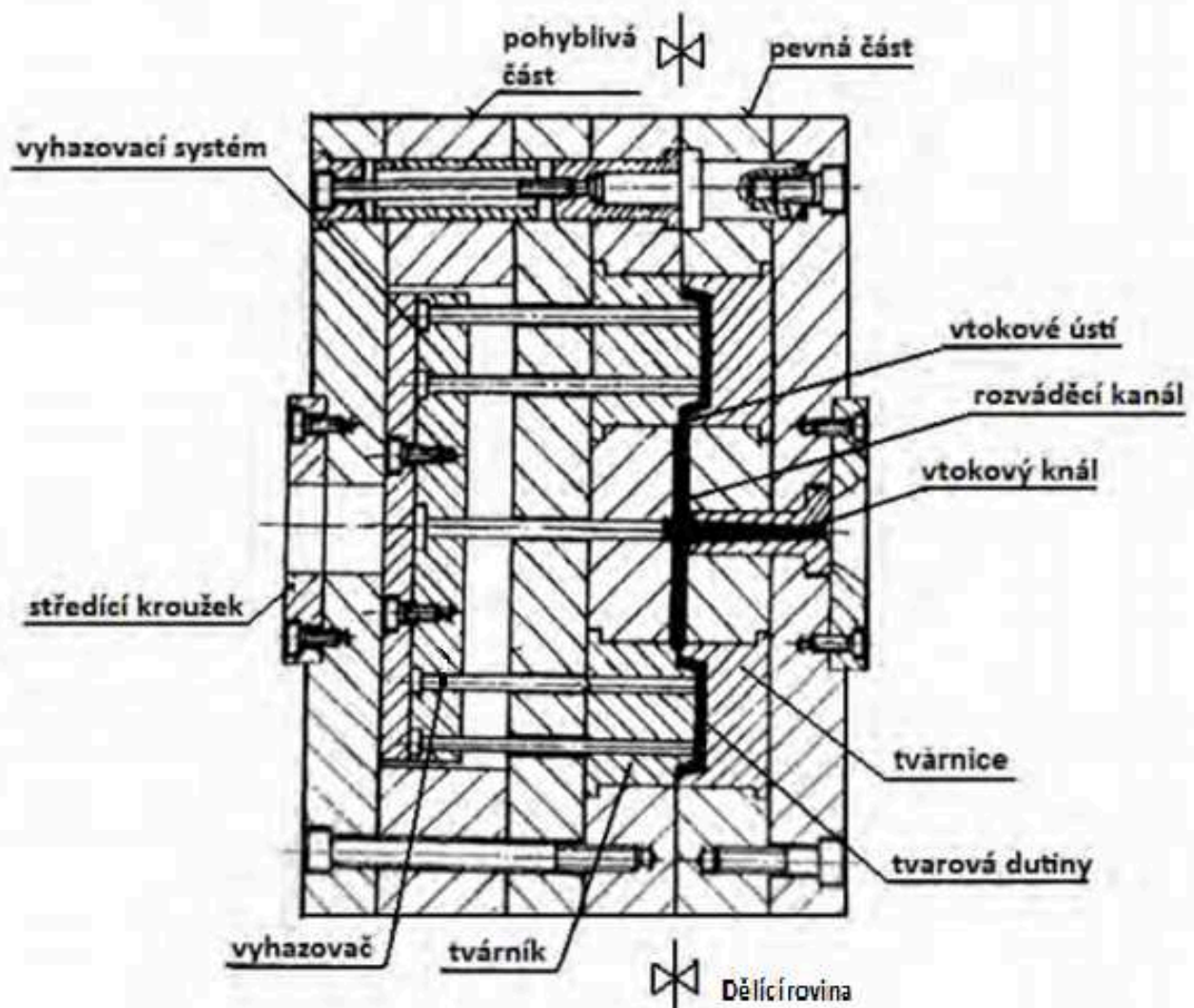
Forma je nástroj, který se upíná na vstřikovací stroj. V průběhu vstřikovacího cyklu je naplněna roztaveným plastem. Po zchladnutí je zhotoven výlisk s požadovaným tvarem a funkčními vlastnostmi. [2]

### 1.2.2 Složení formy

- tvarová dutina
- temperační systém
- vtokový systém
- upínací a vodící elementy

### 1.2.3 Rozdělení forem

- a) podle násobnosti: - jednonásobné  
- vícenásobné,
- b) podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení: - dvoudeskové  
- třídeskové  
- etážové  
- čelistové  
- vytáček
- c) podle konstrukce vstřikovacího stroje na formy: - se vstřikem kolmo na dělicí rovinu  
- se vstřikem do dělicí roviny. [2]

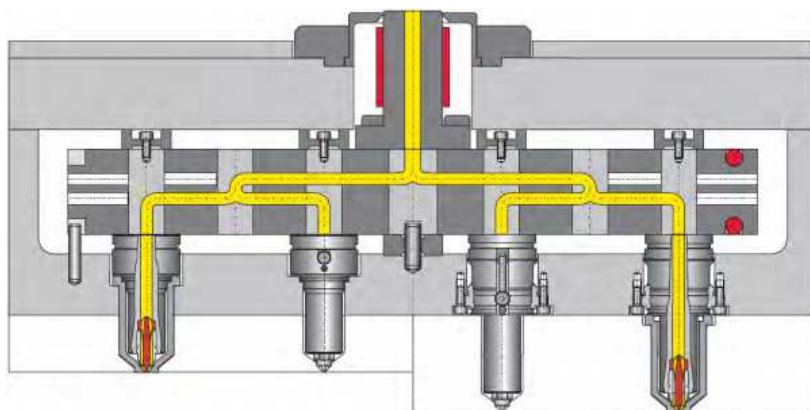


Obr.1. Vstřikovací forma – Popis hlavních částí[2]



### 1.2.4 Vtokový systém

Je to systém kanálů a ústí vtoku, který má za úkol zajistit správné naplnění dutiny formy termicky homogenní taveninou plastu v nejkratším možném čase a s minimálními odpory, snadné odtržení nebo oddělení od vylisku a snadné vyhození vtokového zbytku.[2]

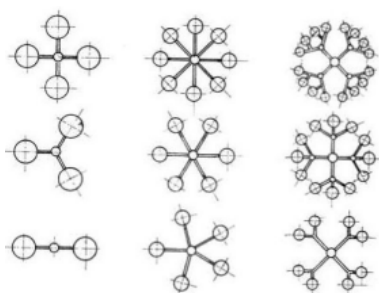


Obr.2.Vtoková soustava[2]

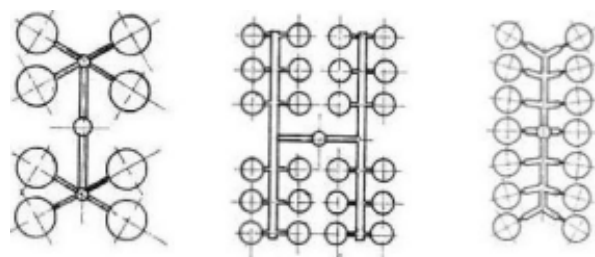
### 1.2.5 Tvar, rozměry, umístění vtoku a ústí vtoku do dutiny ovlivňuje [2]

- rozměry, vzhled a vlastnosti vylisku,
- spotřeba plastu,
- náročnost začištění vtoku na vylisku,
- energetická náročnost výroby.

### 1.2.6 Uspořádání vtokových systémů



Obr.3.Symetrické uspořádání[2]



Obr.4.Řadové uspořádání[2]

### **1.2.7 Temperační systém**

Temperační systém ovlivňuje plnění tvarové dutiny formy, kvalitu výlisku a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu (odvodem tepla z tvarových částí formy).[3]

### **1.2.8 Úkol temperace [3]**

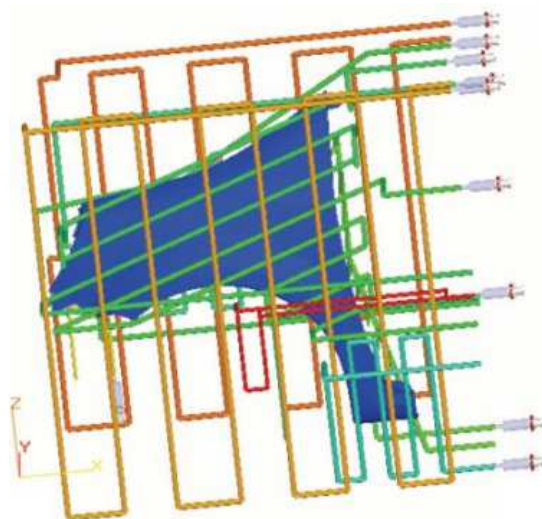
- ohřev formy na požadovanou teplotu a její stálost během procesu vstřikování
- zajistit rovnoměrné rozložení teploty formy po celém povrchu její dutiny
- odvést teplo z dutiny formy naplněné taveninou tak, aby celý pracovní cyklus měl ekonomickou délku

### **1.2.9 Složení temperačního systému [3]**

- Temperační a řídicí jednotka
- Temperační kanály
- Spojovací prvky
- Teplosměnné médium

### **1.2.10 Výhody a nevýhody vody [3]**

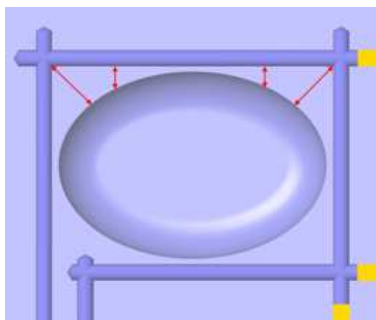
- lepší tepelné vlastnosti než olej
- ekologická nezávadnost
- ekonomická nenáročnost
- nehořlavost, nízká viskozita
- oproti oleji se nevytváří karbon a tím dosahuje výrazně vyšší specifický výkon
- nad 60°C dochází ke ztrátě chemicky čisté vody(odpařování) v podobě vodní páry. Veškeré nečistoty zůstávají v systému => usazeniny, snížená účinnost systému
- ve srovnání s olejem nevykazuje vždy jednotné složení. Jakost je závislá na geologických podmínkách. Látky jako Ca a Mg jsou příčinou vodního kamene, rozpuštěné plyny O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> způsobují korozi temperačních kanálů.



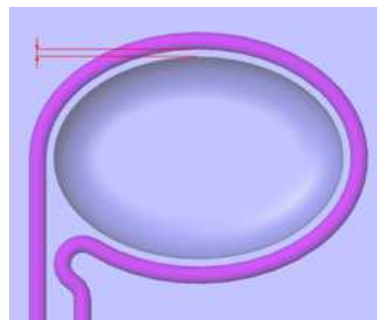
Obr.5. Temperační okruhy[3]

### 1.2.11 Konformní chlazení:

- snížení chladicího cyklu až o 50 %
- snížení deformací výlisku
- homogenní odvod tepla z dutiny formy
- optimalizace chladicího okruhu dle výlisku ne dle výrobních možností
- absolutní volnost při návrhu tvaru a průběhu chladicího okruhu



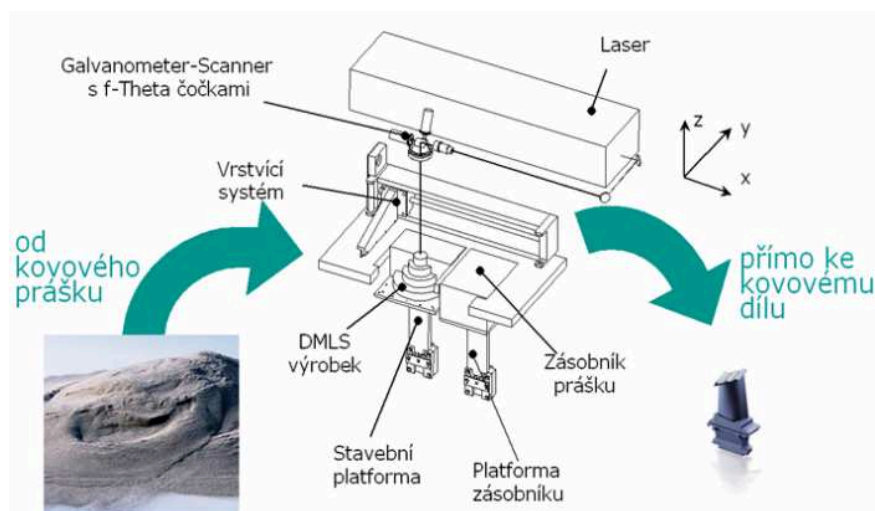
Obr.6. Klasicky vrtaný chladicí okruh [4]



Obr.7. Konformní chlazení[4]

### 1.2.12 DMLS - Direct Metal Laser Sintering

Je to technologie založená na postupném tavení velmi jemných vrstev kovového prášku pomocí laserového paprsku. 3D CAD model výrobku je nejprve „rozřezán“ na jednotlivé vrstvy, díl je pak stavěn vrstvu po vrstvě. Energie laserového paprsku lokálně taví kovový prášek pouze v konturách řezu, který je definován průnikem dané roviny (vrstvy) tělesem (3D CAD modelem) výrobku. [5]



Obr.8. Princip DLMS[5]

### 1.2.13 Vyhazovací systém:

Protože výlisky při chladnutí ulpívají na tvarových částech formy, je třeba vyhazovací systém, který zajistí vyhození nebo vysunutí výlisku z dutiny nebo tvárníku otevřené formy.[1]

#### a) Mechanické vyhazování

Nejčastější způsob vyhazování výlisků je mechanický princip buď pomocí vyhazovacích kolíků nebo pomocí stíracích desek, stíracích kroužků apod. V řadě případů se jednotlivé způsoby kombinují.[1]

#### b) Vzduchové vyhazování

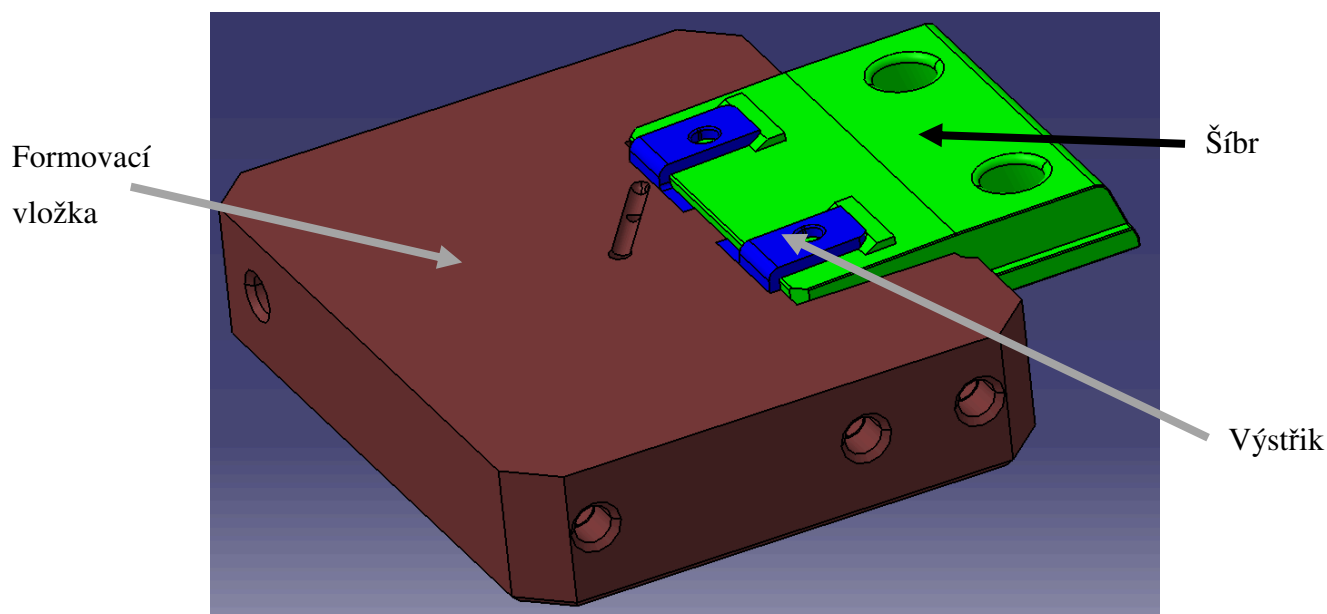
Vzduchový systém vyhazování je nejvhodnější pro tenkostěnné výlisky větších rozměrů ve tvaru nádob, které vyžadují při vyhazování odvdušnit, aby se nedeformovaly. Běžné mechanické vyhazování používané u větších výlisků vyžaduje velký zdvih vyhazovače a tím také větší výšku formy. [1]

#### c) Hydraulické vyhazování

Hydraulický vyhazovač se vyrábí jako uzavřená hydraulická jednotka, která se zabuduje přímo do připraveného místa ve formě. Používá se hlavně k ovládání mechanických vyhazovačů jako jsou kolíky, stírací desky apod. Umožňuje pružnější pohyb a větší flexibilitu. Charakteristickým znakem je velká vyhazovací síla a kratší a pomalejší zdvih [1]

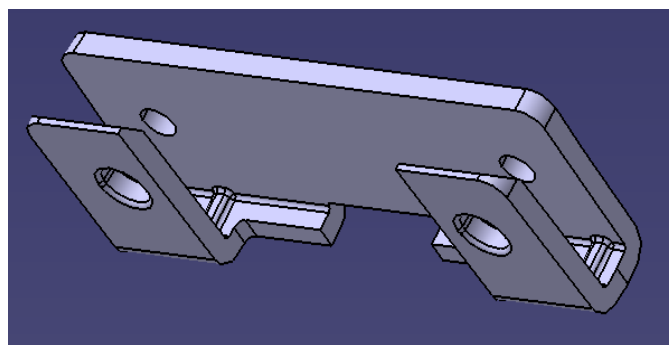
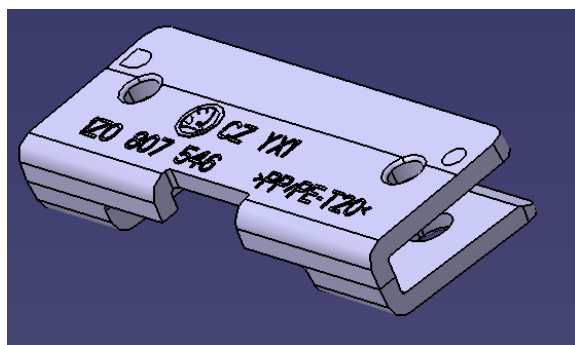
## 2. DOSAVADNÍ ŘEŠENÍ

Na obr.1 vidíme jak do sebe zapadají jedna tvarová vložka, *šíbr* a součást. Kde zelenou barvu má *šíbr*, modrou výstřik a hnědou tvarová vložka.



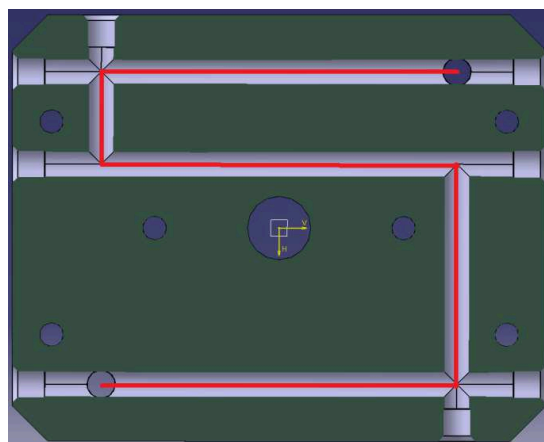
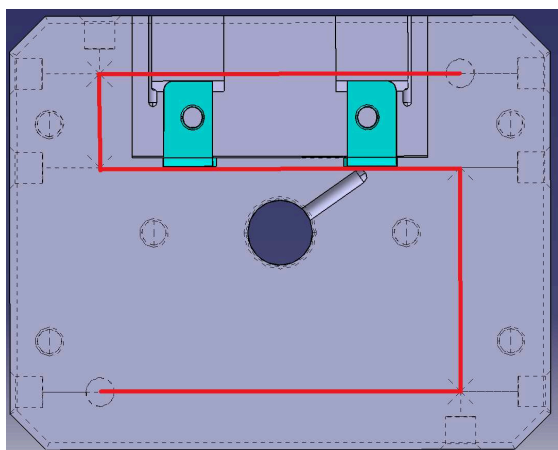
Obr.9 – Sestavení tvarové vložky, šíbru, výstřiku

### 2.1. Výstřik

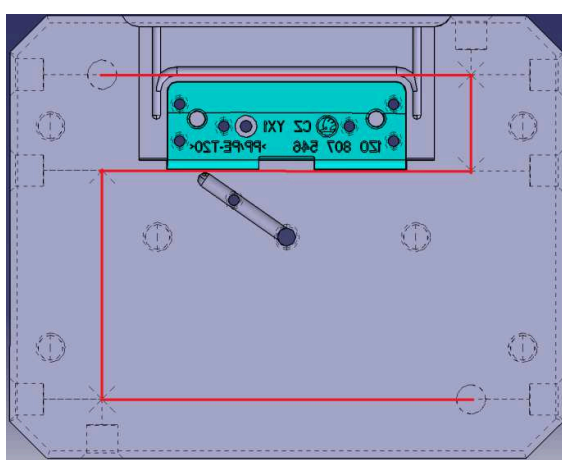


Obr.10 a 11 – Výlisek

Na obrázku 2 a 3 vidíme tvar výlisku, který má profil tvaru rozevřeného U. Na obrázku 4 a 5 vidíme dosavadní řešení chladících kanálů, kde červená čára ukazuje směr proudění vody. Světle modrá barva ukazuje dotyk výlisku a tvarové vložky. Provedení chladících kanálů je stejné jak v horní tak i v dolní vložce.

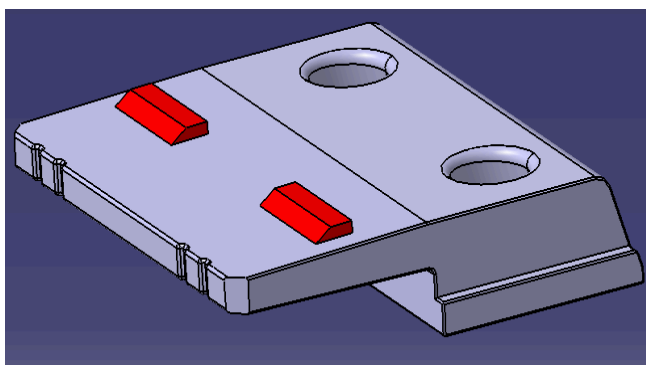


Obr.12 a 13 – Chladicí kanál Tvarové vložky zadní



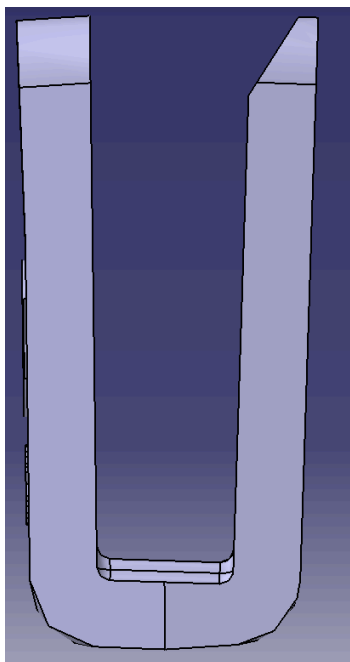
Obr.14 – Chladicí kanál Tvarové vložky přední

Tyto dvě vložky doplňuje šíbr, který uzavírá prostor mezi těmito dvěma deskami a vytváří vnitřní profil součásti. Avšak tato součást není nijak chlazená a její materiál je ocel. Proto dochází k deformacím (uzavírání) při chladnutí výlisku po vyhození. Proto je nutné navrhnout chlazení šíbru tak, aby nedocházelo k zavírání profilu výlisku.

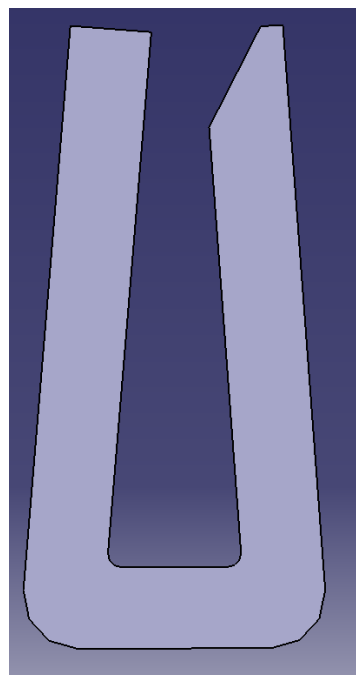


Obr.15 - Šíbr  
22

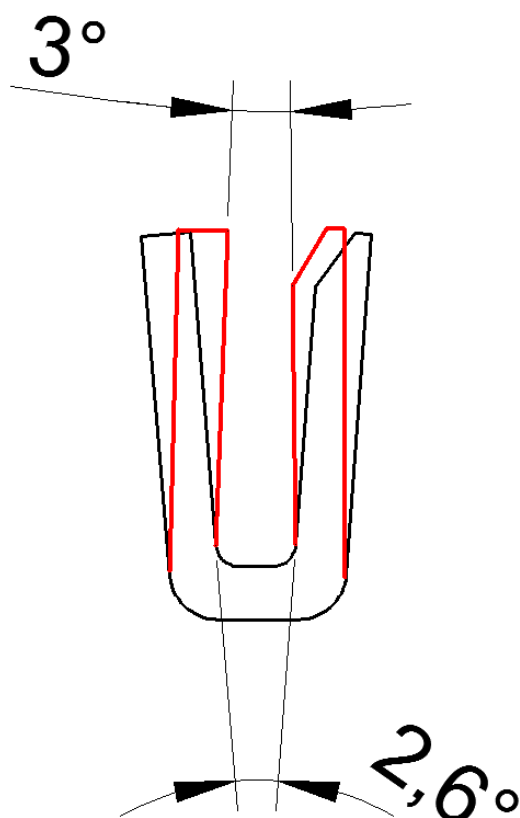
Uzavírání profilu je vidět na obrázcích 16 a 17, kde obrázek 16 je profil součásti, jak by měl vypadat. A obrázek 17, je jak ve skutečnosti vypadá.



Obr.16 - Požadovaný tvar profilu



Obr.17 - Skutečný tvar profilu



Obr.18 - Porovnání požadovaného tvaru a vylisovaného

### **3. SEZNAM POŽADAVKŮ**

- Vodní chlazení
- Úprava stávajícího temperačního okruhu
- Dostatečné chlazení výstřiku
- Optimalizace vstřikovacího cyklu
- Jednoduchá konstrukce
- Chladicí voda nesmí překročit bod varu
- Při výtoku nesmí voda překročit 40°C
- Četnost použití – vysoká
- Jednoduchá manipulace a ovládání
- Snadná údržba
- Chladicí výkon – zajištění požadované teploty výstřiku
- Náklady – minimální náklady na úpravu a provoz temperačního okruhu

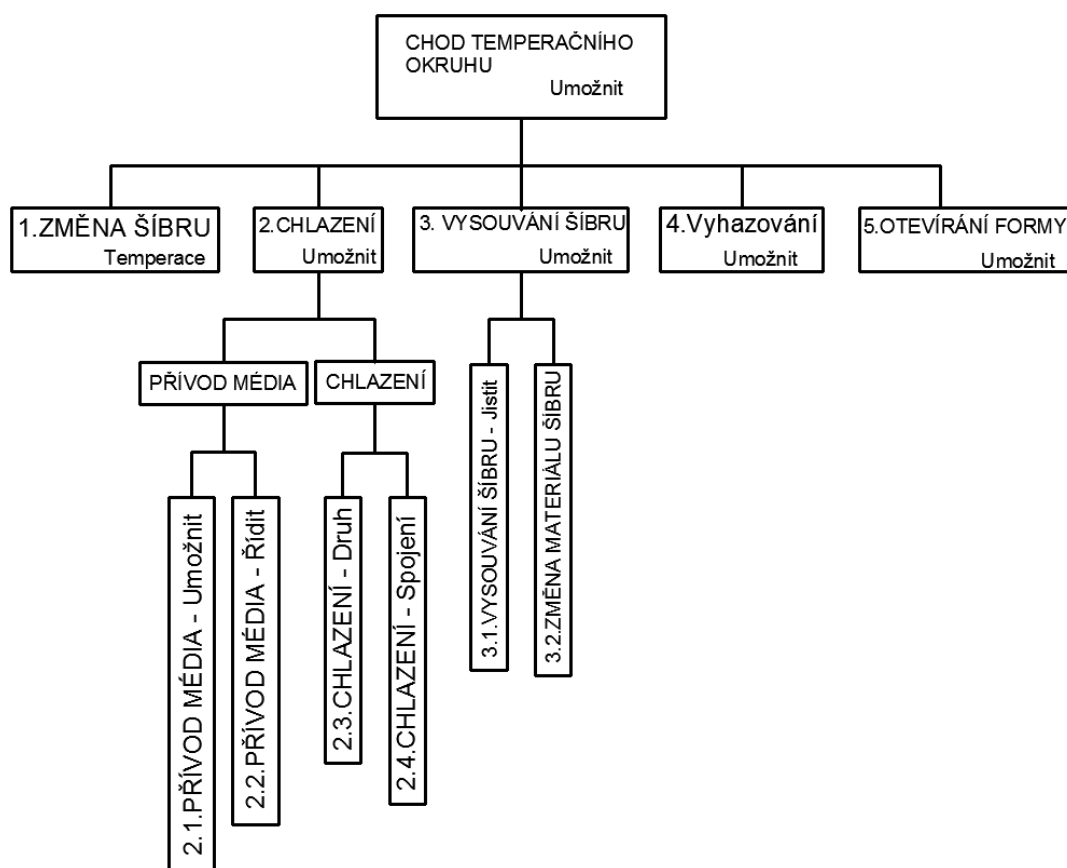
### **4. FUNKČNÍ STRUKTURA**

#### **4.1. Seznam funkcí**

- 1) Otevírání formy
- 2) Přívod chladicího média
- 3) Spojení chlazení a přívodu média
- 4) Chlazení
- 5) Chladicí okruh
- 6) Vysouvání šíbru
- 7) Vyhazování výstřiku

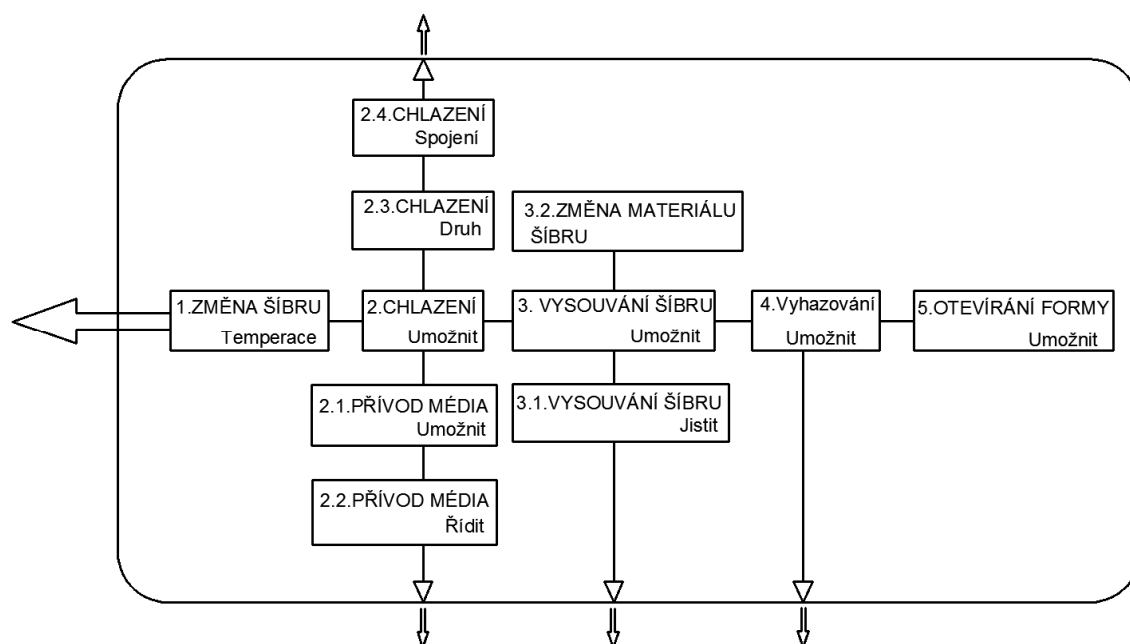


## 4.2. Hierarchické uspořádání



Obr.19 - Funkční struktura - Hierarchické uspořádání

## 4.3. Blokové uspořádání



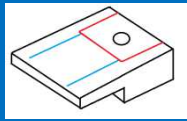
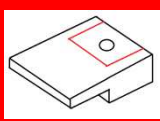
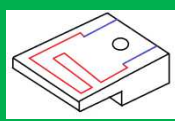
Obr.20 - Funkční struktura - Blokové uspořádání

## 5. MORFOLOGICKÁ MATICE

Funkce		Orgány - Nositelé funkce		
číslo		1	2	3
1.	Změny šířky (temperace)	Konvenční chlazení	Změna materiálu	Metoda DMLS
2.	Chlazení (umožnit - médium)	Olej	Voda	Glykol
2.1.	Přívod média (umožnit)	Hadice	Trubky	
2.2.	Přívod média (řídit)	Škrticí ventil	Klapka	Nic
2.3.	Chladicí (okruh)	Uzavřený okruh	Otevřený okruh	
2.4.	Chlazení (spojení)	Spojky	Šroubení	Rychlospojky
3.	Vysouvání šířky (umožnit)	Přídavný servomotor	Šikmý kolík	Ozubení
3.1.	Vysouvání šířky (jistit)	Šroub	Tvarový doraz	Nic
3.2.	Změna materiál šířky	Direct Steel 20 - DS 20	Konstrukční ocel	Albromet W130
4.	Vyhazování (umožnit)	Mechanické vyhazování	Vzduchové vyhazování	Hydraulické vyhazování
5.	Otevírání formy (umožnit)	Lis	Servomotor	Motor + převodovka

Tab.1 - Morfologická matice

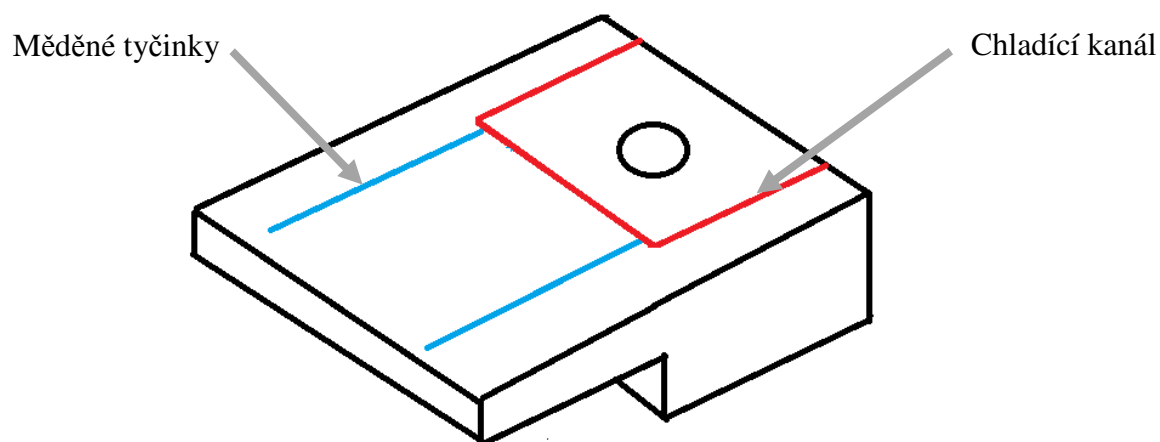
## 6. ORGÁNOVÁ STRUKTURA

Funkce	Varianty úprav šíbru		
	Modrá - Konvenční chlazení	Červená - Změna Materiálu	Zelená - Metoda DMLS
			
Množství úprav	3	3	3
Náklady na úpravu	2	3	5
Technické nedostatky	2	1	3
Kvalita chlazení	4	2	1
<b>Celkem</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>12</b>

Tab.2 - Orgánová struktura

## 7. HRUBÁ STAVEBNÍ STRUKTURA

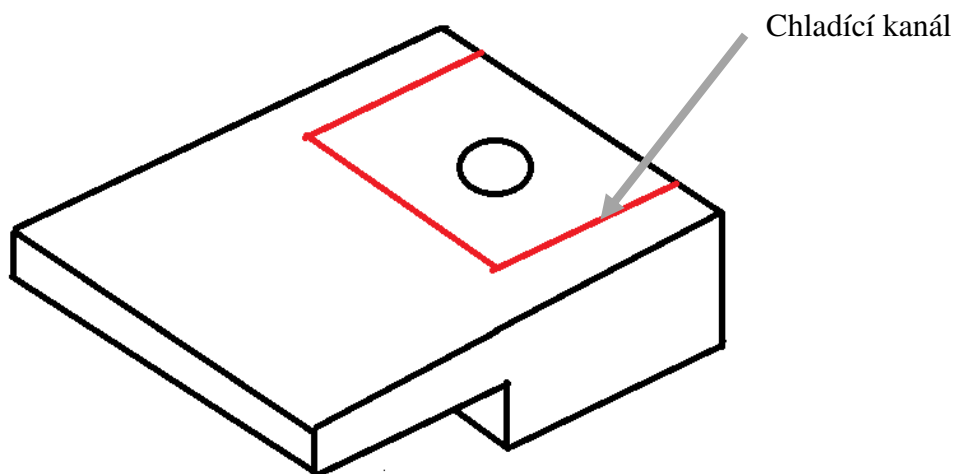
### 7.1 Konvenční chlazení



Obr.21 - Konvenční chlazení šíbru

Jedná se o konvekční chlazení. Tedy o navrtání děr, kterými protéká voda. Na obrázku je zakreslen šíbru a jeho zavedený temperační okruh. Červená čára znázorňuje proudění chladicí kapaliny. Modrá znázorňuje měděné tyčinky pro zlepšení odvodu tepla z problematických míst.

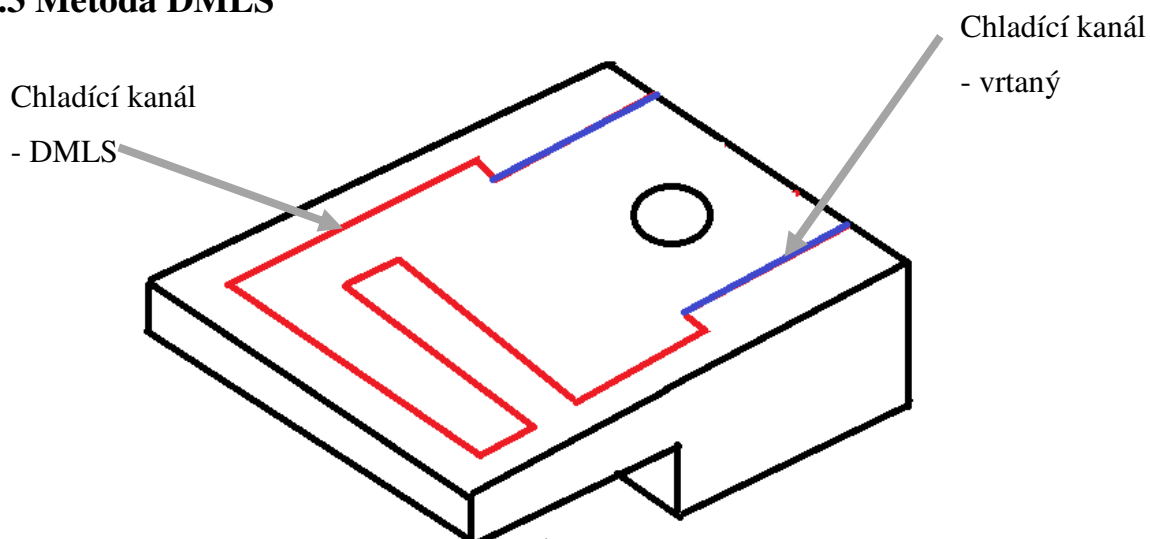
## 7.2 Změna materiálu



Obr.22 - Změna materiálu a konvenční chlazení šíbru

V tomto řešení je také zavedeno konvenční chlazení, ale je zde jiný materiál šíbru. Změna materiálu je z důvodu lepšího odvodu tepla z problematických míst. Jedná se o materiál ALMROMET W130, který má chemické složení CuBe2. Jeho tepelná vodivost je  $\lambda = 130 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ , což je asi 3x více než u konstrukční oceli.

## 7.3 Metoda DMLS

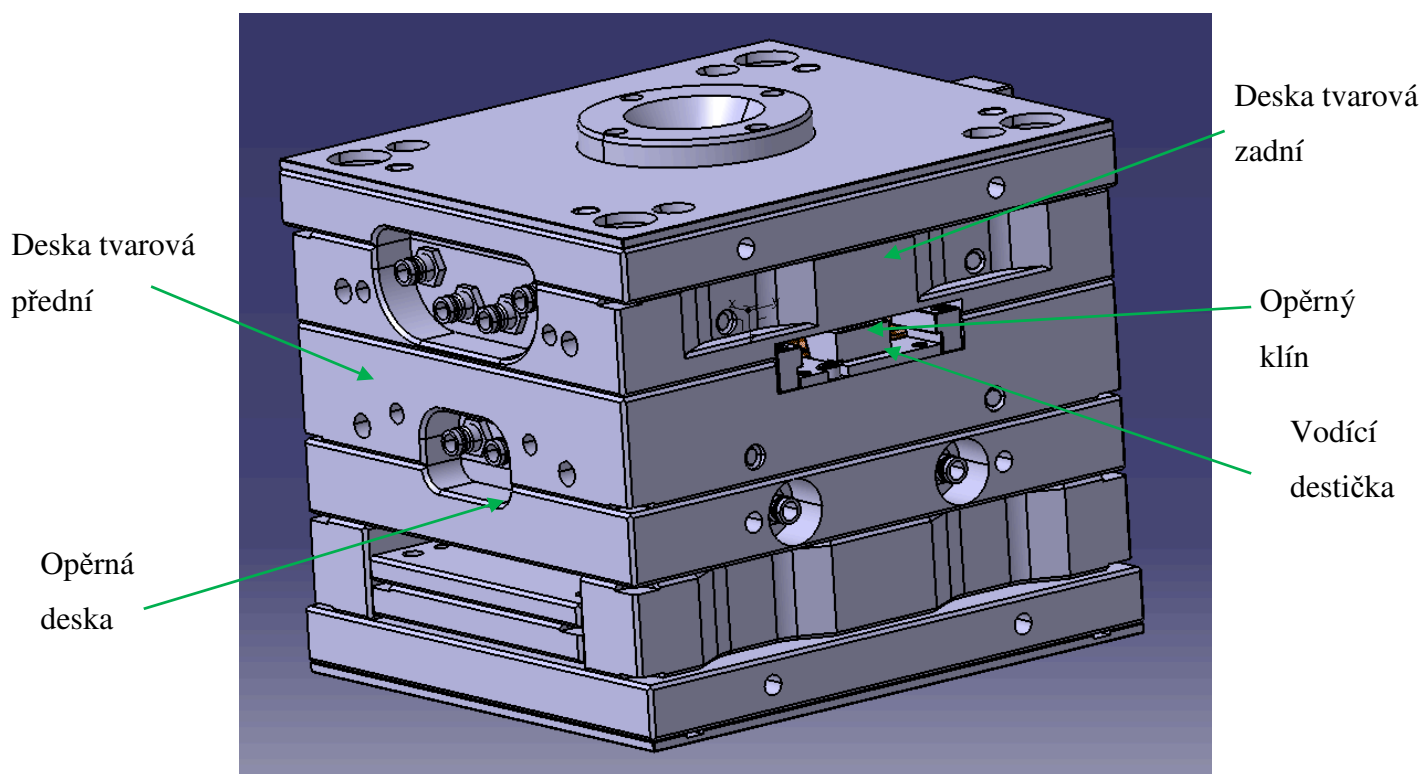


Obr.23 - DMLS metoda chlazení šíbru

Jedná se o metodu DMLS, která pracuje na principu ocelového prášku taveného laserem. Tato metoda dovoluje navrhnout libovolný tvar chladicího kanálu. Avšak dělat celý šíbr touto metodou by bylo pracné a zbytečně drahé. Proto je zadní část vyráběná třískovým obráběním a přední (funkční část) je vyráběná metodou DMLS. Tato metoda má také výhodu v tom, že můžeme vytvořit chladicí kanál, který může mít minimální tloušťku stěny 2 mm. Proto můžeme dát chlazení i do míst, kde by konvenční metoda potřebovala minimálně 3 - 5 mm stěnu, aby nedocházelo k praskání stěny z důvodu teplotních cyklů.

## 8. ÚPLNÁ STAVEBNÍ STRUKTURA

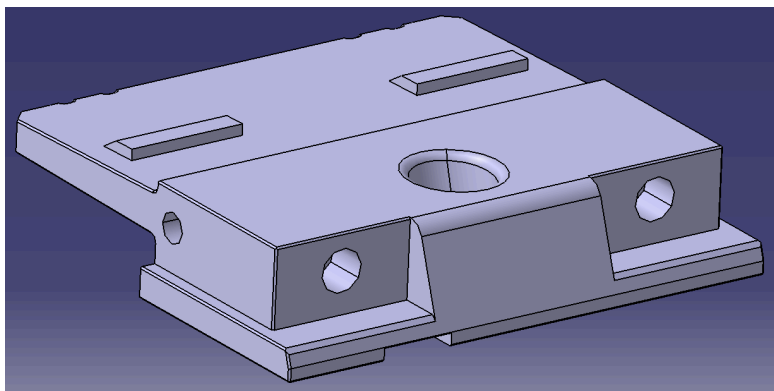
### 8.1. Konvenční chlazení



Obr.24 - Celá vstřikovací forma

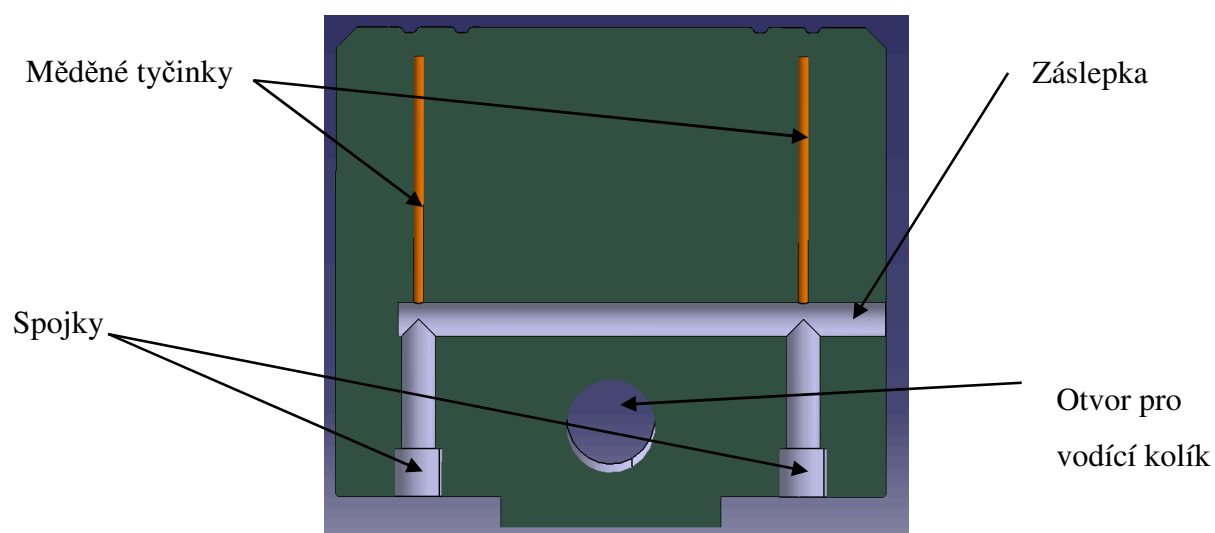
### 8.1.1. Šíbr

Protože bylo nutné zavést temperační okruh i do šíbru, tak byly nutné úpravy na formě. První úprava je samotný šíbr.



Obr.25 - Šíbr konvenčního chlazení

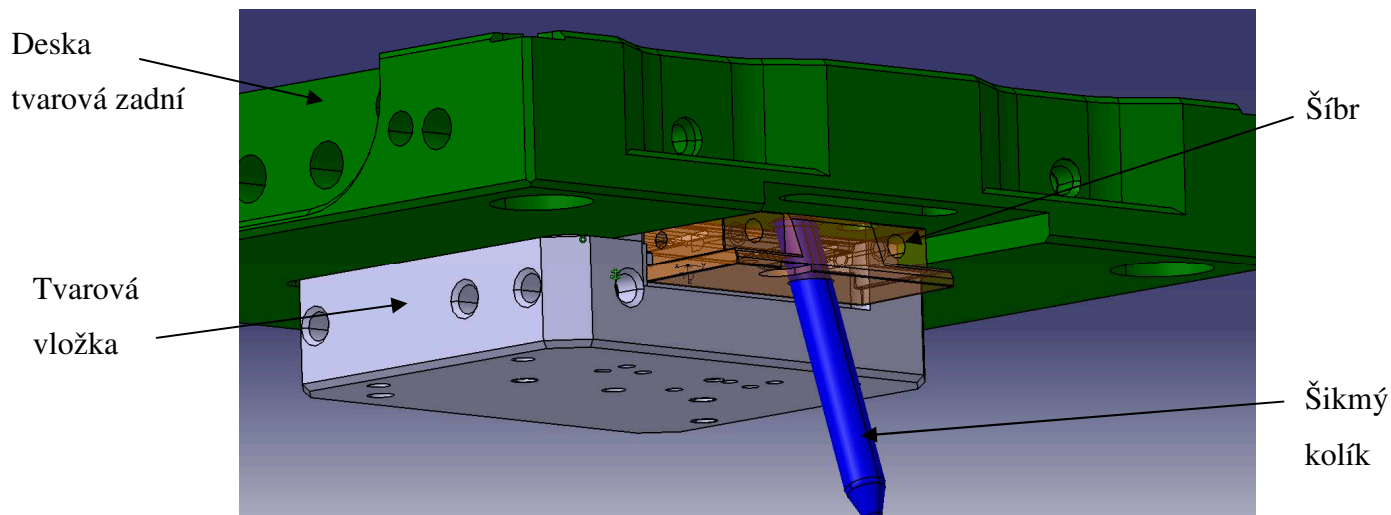
Konvenčním chlazením se myslí použité vrtání a případně prostřelování (elektroerozivně) k výrobě děr, kterými proudí voda nebo jsou použity pro měděné tyčinky. Na obr.26 vidíme řez šíbru, kde v oranžové části budou vloženy měděné tyčinky ke zlepšení odvodu tepla z problematických míst. Šedá část jsou vyvrtané otvory pro vodní chlazení. S tím, že na rozšířené konce otvorů přijdou spojky na hadice a na zbylý otvor přijde záslepka.



Obr.26 - Šíbr konvenčního chlazení - řez

### 8.1.2. Šikmý kolík

Aby se mohla zavést voda do šíbru, je nutné šíbr předělat tak, aby měl pouze jeden šikmý kolík. Jeho funkcí je vysunování šíbru při otevírání formy. Šíbr je nutno vysunout z důvodu vyjmutí výlisku.

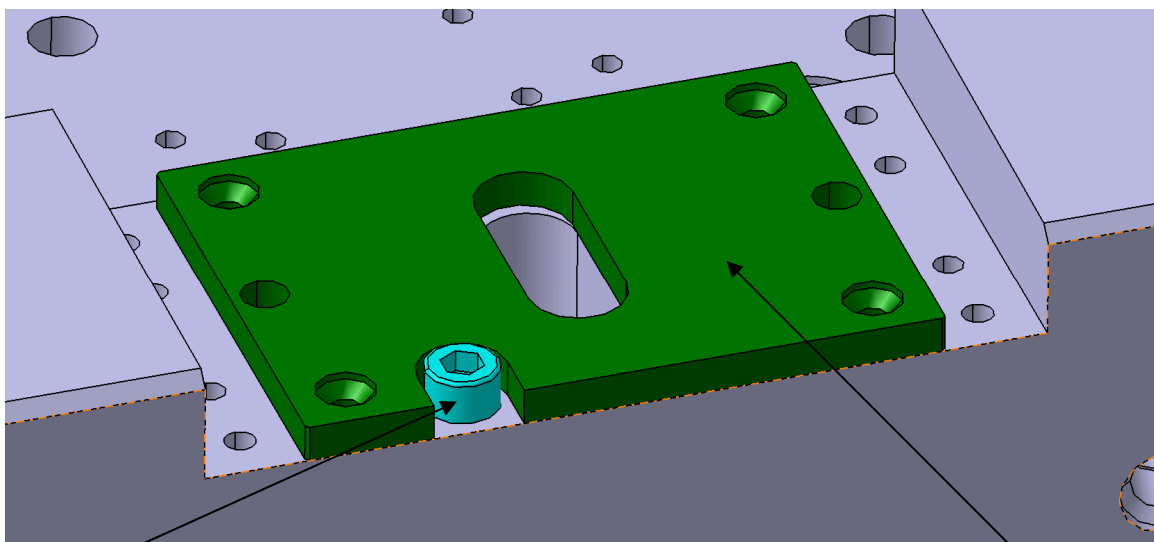


Obr.27 - Umístnění šikmého kolíku, desky tvarové a tvarové vložky vůči šíbru

Na obr.27 vidíme zeleně zbarvenou desku tvarovou zadní, do které je tvarově uchycen modře zbarvený šikmý kolík. K vysunutí šíbru dochází tedy tak, že tvarová deska zadní (zelená) jede nahoru po svislé ose. Šikmý kolík je uchycen v tvarové desce pod úhlem. Když tedy jede tvarová deska nahoru i se šikmým kolíkem uloženým pod úhlem, vysouvá tak šíbr z tvarových vložek (zbarvených šedou barvou).

### 8.1.3 Vodící destička

Vodící destička je zde z důvodu, že se šíbr na ní pohybuje, proto je nutné, aby destička byla z kalené oceli 1.2343 a broušená. Je zde vyfrézovaná drážka, do které zajíždí šikmý kolík, když je forma zavřená. Další drážka, je pro umístnění pojistného šroubu, který slouží jako doraz šíbru, aby při otevření formy nevypadl ven.



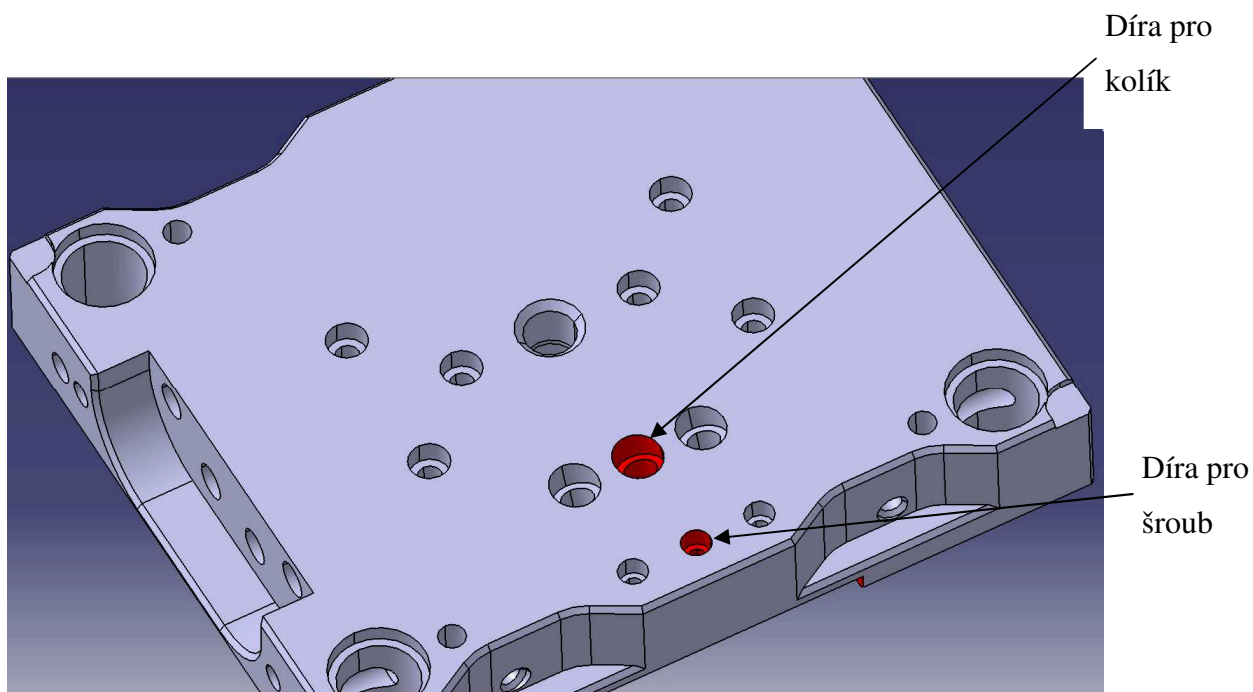
Šroub

Vodící destička

Obr.28 - Vodící destička

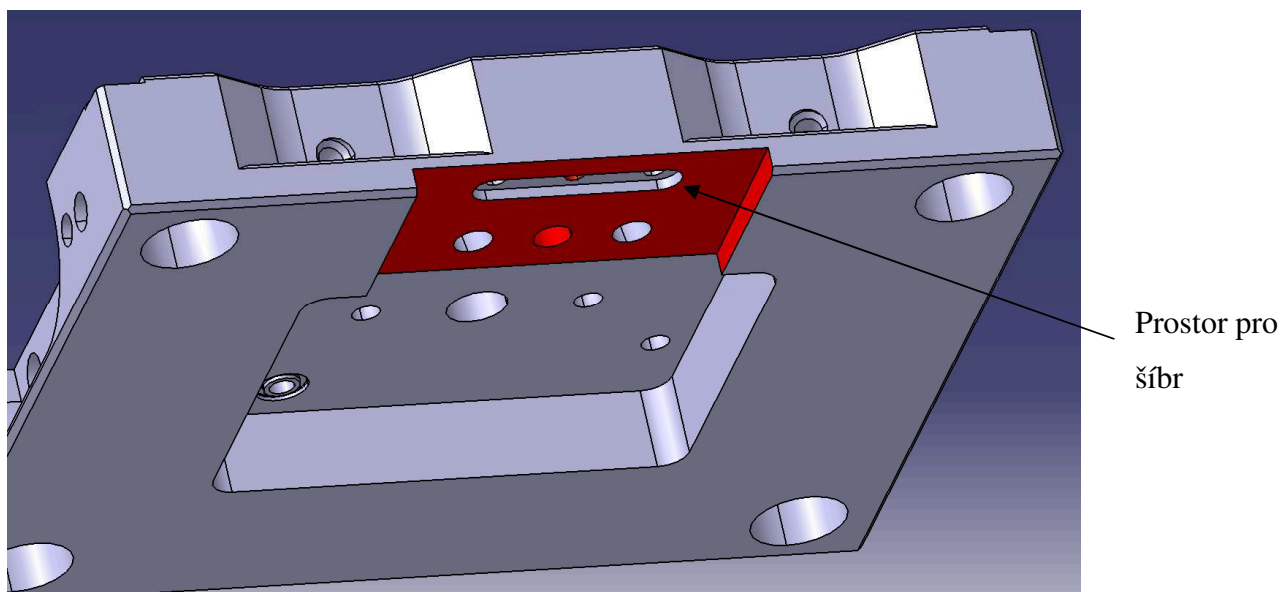
#### 8.1.4. Deska tvarová zadní

Protože šíbr vysouvá pouze jeden šikmý kolík, je nutné tuto desku upravit. A to vyvrtáním díry pro šikmý kolík a vyvrtáním díry pro šroub, který drží opěrný klín. Dále je nutné zvětšit prostor pro šíbr, z důvodu přivedení chlazení.



Obr.29 - Deska tvarová zadní (horní pohled)

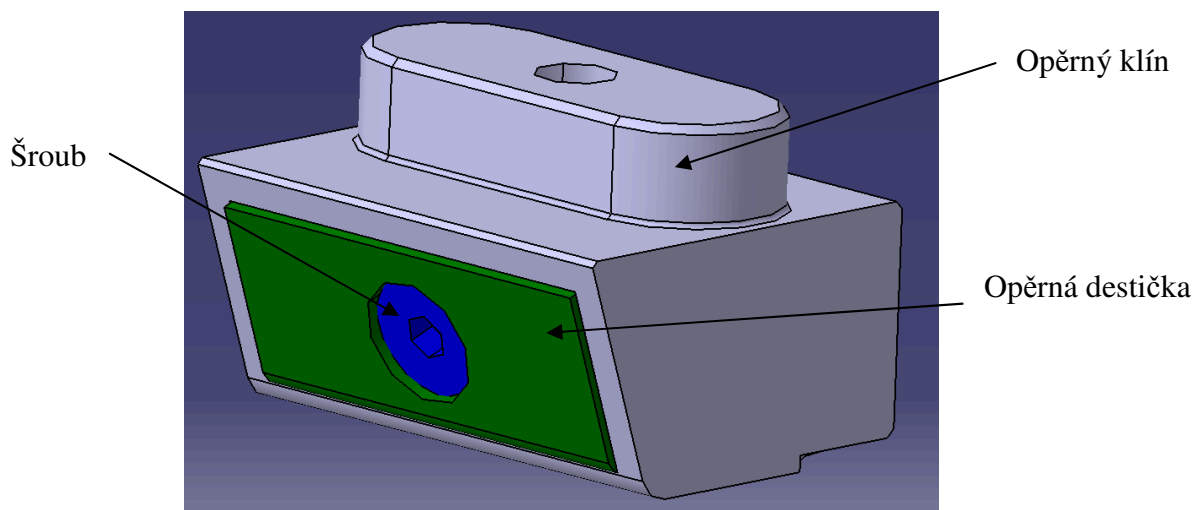




Obr.30 - Deska tvarová zadní (dolní pohled)

### 8.1.5. Opěrný klín

Opěrný klín slouží k uzamčení šíbru při lisování. Tento klín je pevně spojen s tvarovou deskou zadní. Je zde jako pojistka, aby nedocházelo k vysouvání šíbru při lisování z důvodu velkého lisovacího tlaku.

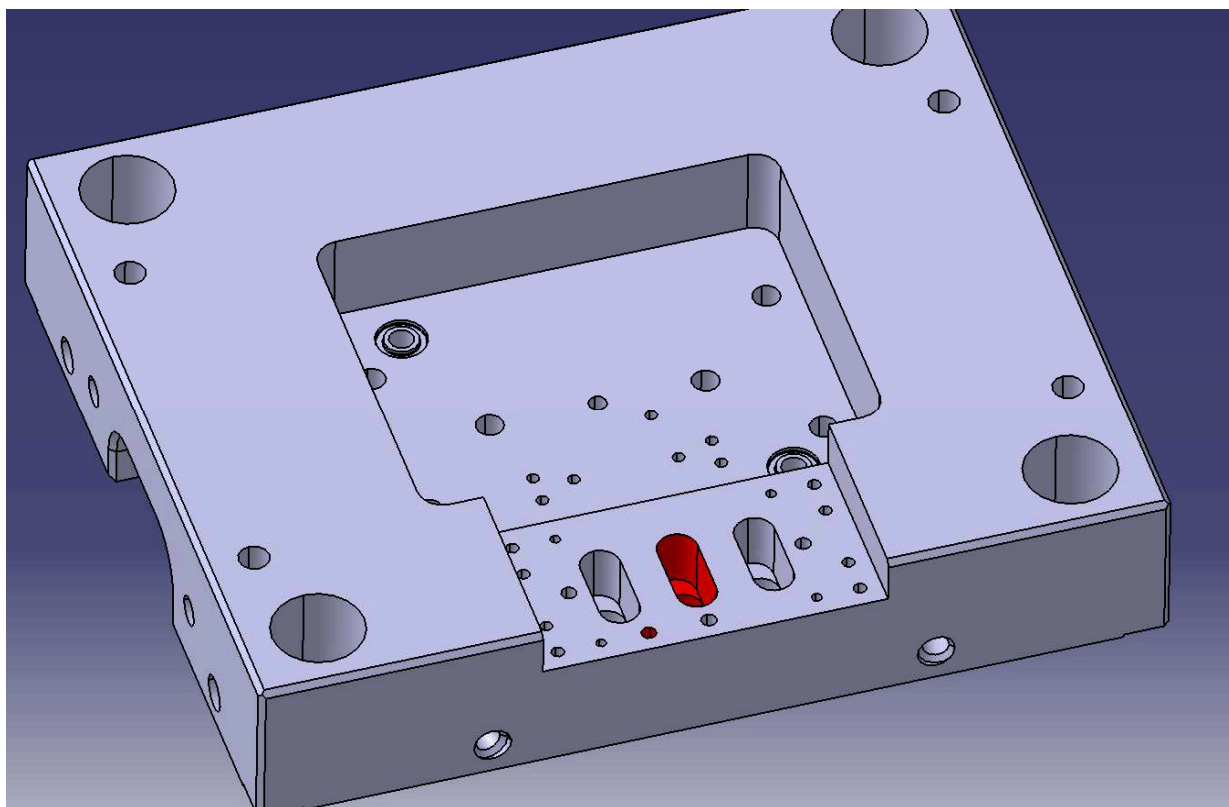


obr.31 - Opěrný klín, Opěrná destička

Opěrný klín se musel zúžit, aby bylo možno přivést vodu do šíbru. Změnou oproti původnímu klínu je, že opěrná destička (zeleně zbarvena) není přišroubována dvěma šrouby k opěrnému klínu, ale pouze jedním. Také je do něj tvarově zasazena.

### 8.1.6. Deska tvarová přední

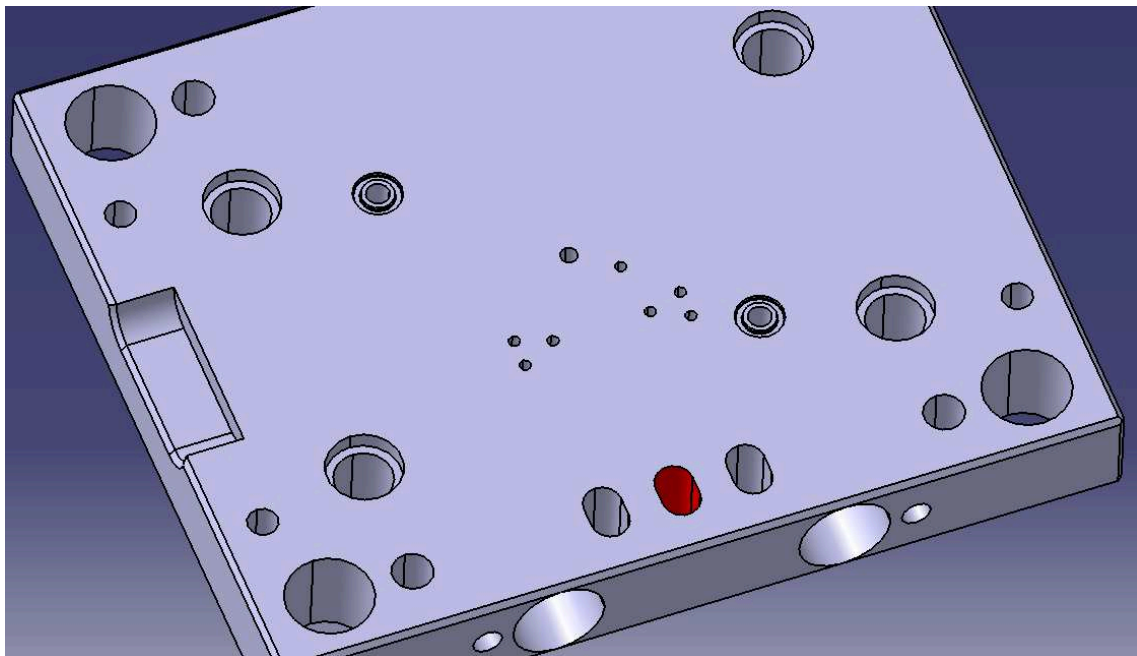
V desce tvarové přední byly jenom dvě úpravy. A to vyfrézování drážky do které zajíždí šikmý kolík (červeně zvýrazněné) a díra se závitem pro pojistný šroub. Tento šroub musel být přemístěn, protože drážka na vodící destičce pro tento šroub by kolidovala s drážkou pro šikmý kolík. Na obr.32 je formovací deska s červeně zvýrazněnými potřebnými úpravami.



Obr.32 - Deska tvarová přední

### 8.1.7. Opěrná deska

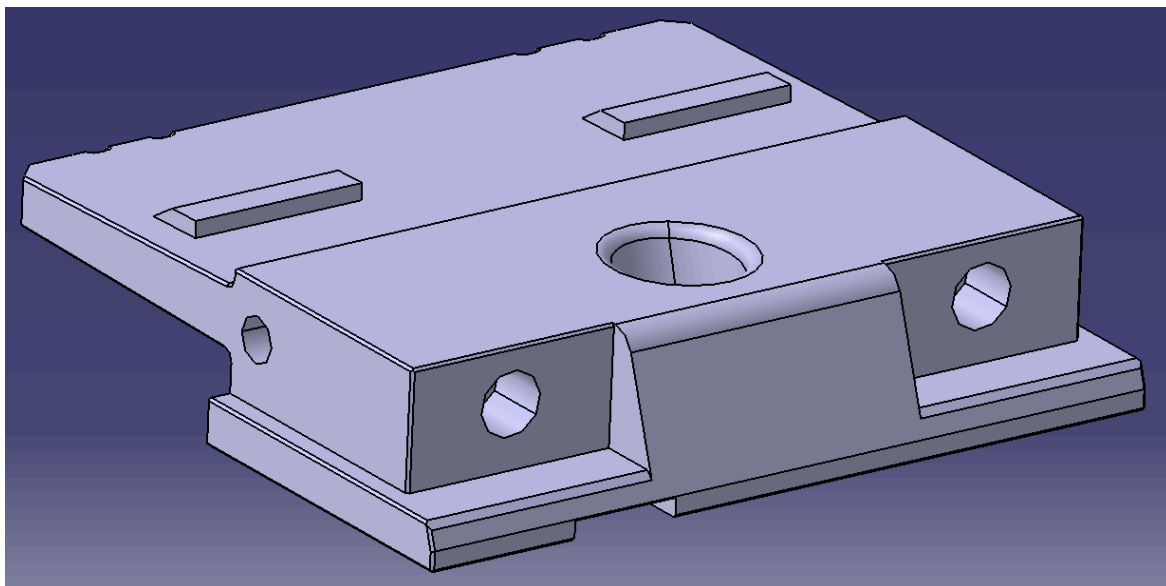
Na této opěrné desce byla zapotřebí pouze jedna úprava, a to vyfrézování drážky do které zajíždí špička šikmého kolíku (červeně zvýrazněná).



Obr.33 - Opěrná deska

## 8.2. Změna materiálu - Albromet W130

Jedná se o úpravu šíbru, kde stěžejním bodem je výměna materiálu šíbru. Jedná se o materiál ALMROMET W130, který má chemické složení  $\text{CuBe}_2$ . Jeho tepelná vodivost je  $\lambda = 130 \text{ W/m}^*\text{K}$ , což je asi 3x více než u konstrukční oceli.

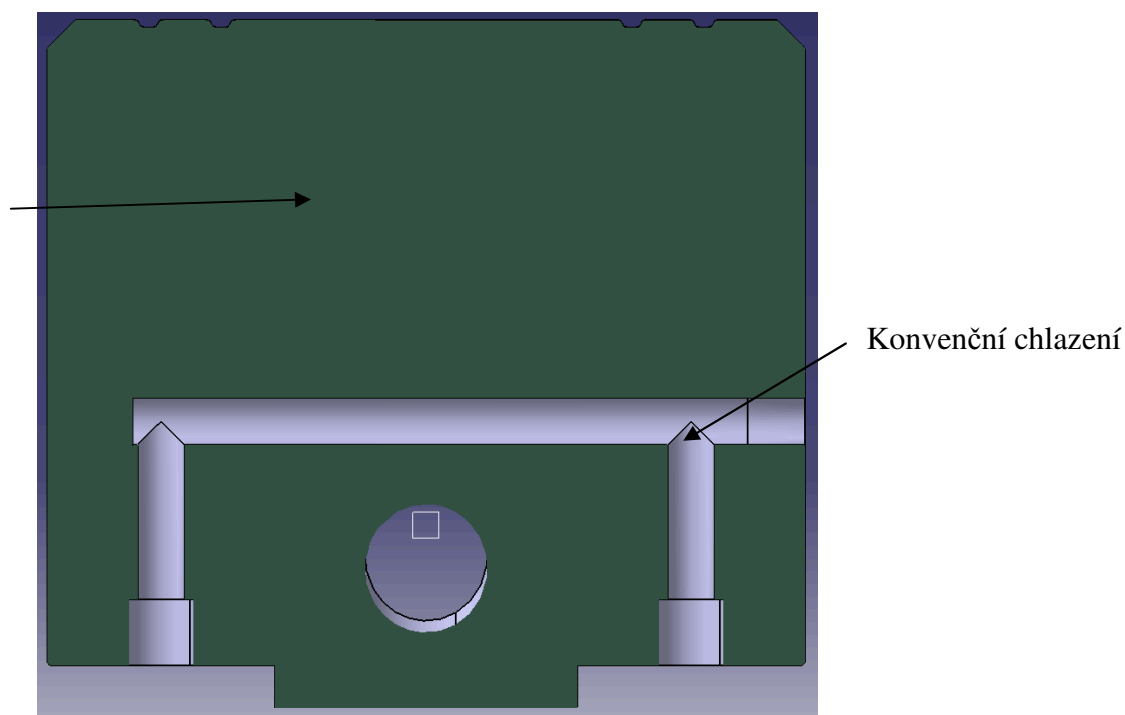


Obr.34 - Šíbr - Albromet

Na obr.33 vidíme, jak je provedeno chlazení u šíbru. Vzhledem k tomu, že materiál je Albromet W130 a tento materiál je slitina mědi, tak zde stačí toto konvenční chlazení. Protože měď lépe vede teplo, materiál se ohřeje rovnoměrně a rychleji. Proto i konvenční chlazení je účinnější než u oceli 1.1730 (efektivněji odvede teplo z problematických míst). Ke zvýšení životnosti šíbru z Albromedu se může použít povlakování na zvýšení povrchové tvrdosti a zlepšení otěruvzdornosti šíbru.

Další konstrukční úpravy, jako např. předělání šíbru pouze pro jeden šikmý kolík je provedeno stejně jako u konvekčního chlazení (kapitola 8.1.). Proto se jedná o nejlevnější a nejméně složitou úpravu.

Šíbr z materiálu  
ALBROMET  
W130

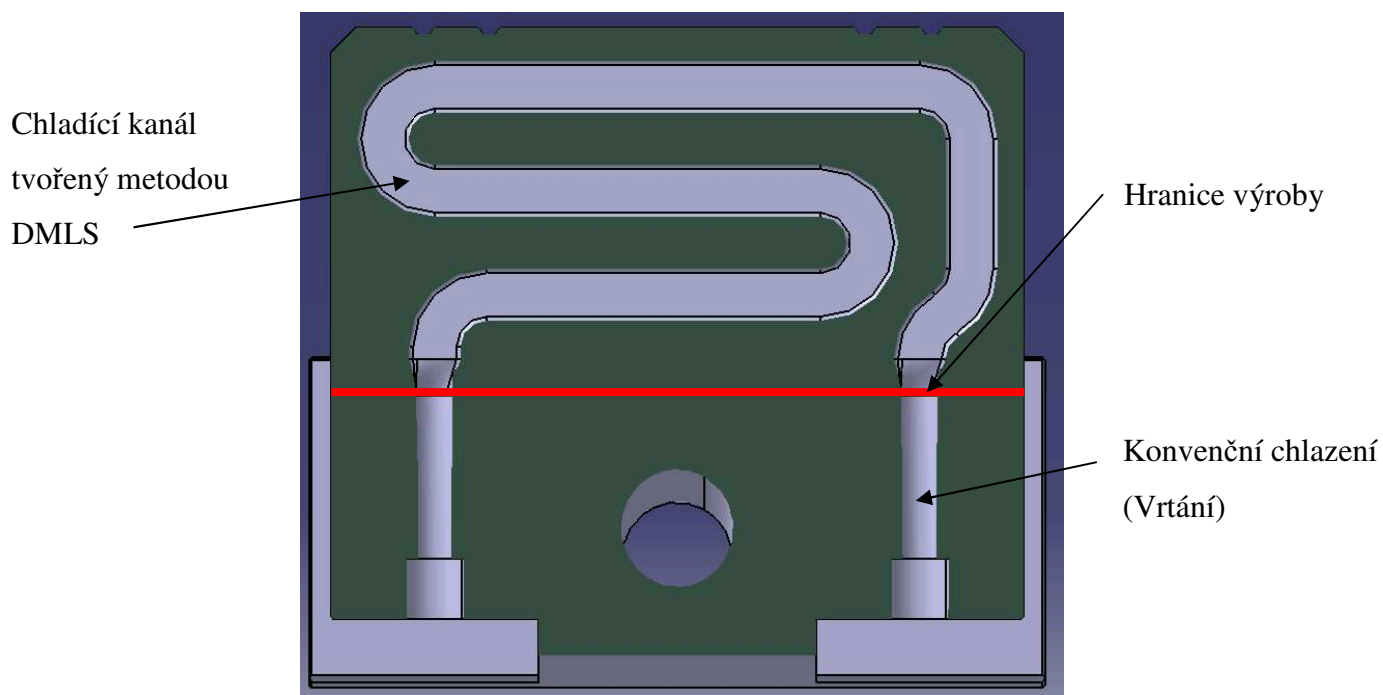


Obr.35 - Šíbr - Albromet - řez

### 8.3. Metoda DMLS

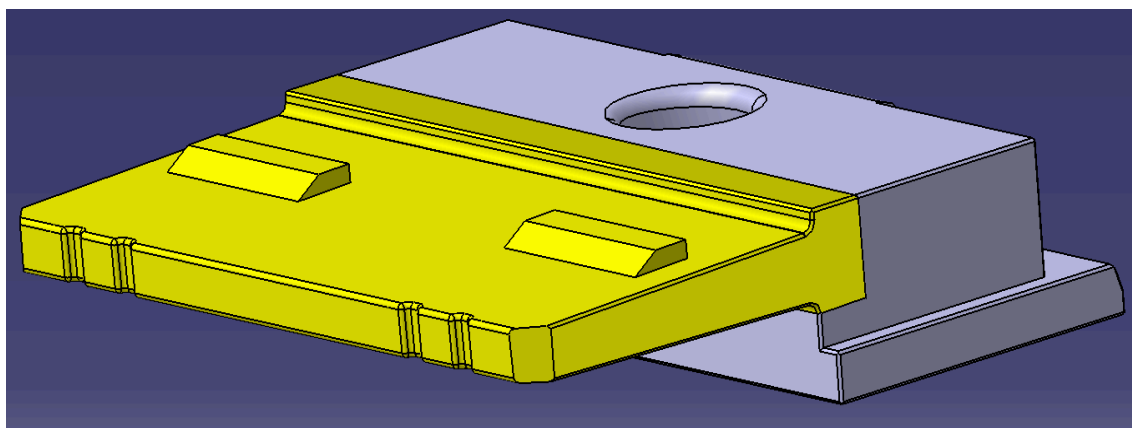
Zde provedené konstrukční úpravy jsou stejné jako u předchozí kapitoly (kapitola 8.1. i 8.2.). Změna je tedy pouze u šíbru, který je vyráběn metodou DMLS (Direct Metal Laser Sintering). Šíbr má vnější rozměry a tvar stejný jako ostatní šíbry. Změna je tedy v temperačním okruhu.

Tento šíbr je vyráběn dvěma metodami. První metodou je třískové obrábění zadní části (pomocné). A druhá je metoda DMLS, kterou se vyrábí přední (funkční) část. Protože vyrábět šíbr jenom metodou DMLS by bylo drahé, zbytečně pracné a hlavně není možnost čištění kanálů od rzy.



Obr.36 - Šíbr - DMLS

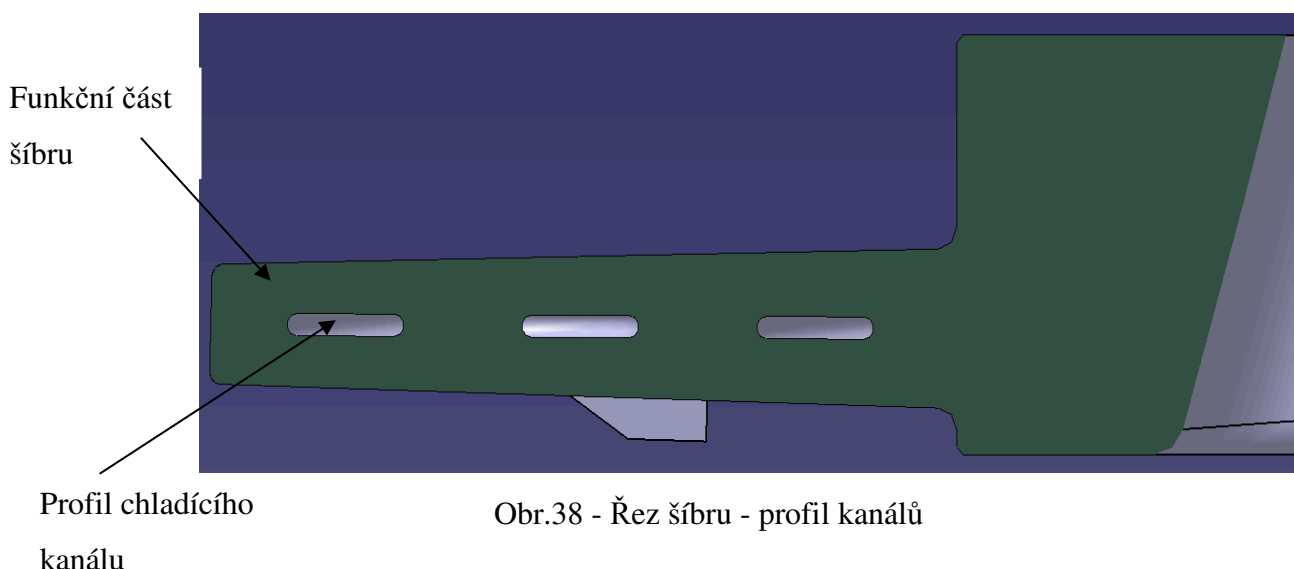
Na obr.36 vidíme rozdělení šíbru dle technologie. Šedá část se vyrábí třískovým obráběním a žlutá část metodou DMLS. Hranicí pro třískové obrábění a metodu DMLS je konec vrtané díry a tedy přechod na oválný kanál.



Obr.37 - Šíbr - Barevné rozlišení metod výroby

Na obr.38 vidíme řez šíbru, na kterém je vidět tvar chladicího kanálu vyráběný metodou DMLS. Protože touto metodou můžeme vyrábět libovolné tvary a profily chladicího kanálu, navrhnul jsem oválný profil, z rozměrových omezení.

Původní návrh byl profil kruhový, protože kanál musí mít minimální tloušťku stěny 2 mm. Jenže kruhový profil by nebyl efektivní, protože by měl velmi malou plochu pro odvod tepla z problematických míst a docházelo by k velkému přiškrcení proudící vody. Další problém by byl s vodním kamenem, který by chladicí kanál o průměru 1 mm snadno zanesl a došlo by k ucpání kanálu. Voda by musela být speciálně upravována a i tak by nebylo zaručené, že by se vodní kámen neobjevil.



Zvolil jsem proto kanál, který má profil oválu (viz obr.38). Tento kanál má 4-krát větší plochu, takže chlazení je efektivnější než u kanálu o průměru 1 mm. Menší rozměr kanálu však musí zůstat 1 mm a to z důvodu, aby byla splněna podmínka minimálně 2 mm stěny. Druhý rozměr kanálu je 6 mm. Nedojde tedy k tak velkému škrcení proudící vody a chlazení je mnohem účinnější než u kanálu o průměru 1 mm.

## 9. VÝPOČTY

### 9.1. Tabulky hodnot

	značka	jednotka	ocel
Tepelná vodivost	$\lambda_o$	W/m.K	50
Měrná tepelná kapacita	$c_o$	J/kg.K	460
Hustota	$\rho_o$	kg/m <sup>3</sup>	7850

Tab. 3 - Hodnoty oceli

	značka	jednotka	voda
Tepelná vodivost	$\lambda_v$	W/m.K	0,618
Měrná tepelná kapacita	$c_v$	J/kg.K	4180
Hustota	$\rho_v$	kg/m <sup>3</sup>	995,7
Kinematická viskozita	$\nu_v$	m <sup>2</sup> /s	8,01.10 <sup>-5</sup>

Tab. 4 - Hodnoty vody

	značka	jednotka	voda
Tepelná vodivost	$\lambda_p$	W/m.K	0,18
Měrná tepelná kapacita	$c_p$	J/kg.K	1880
Hustota	$\rho_p$	kg/m <sup>3</sup>	940
Hmotnost	$m_p$	kg	0,0054

Tab. 5 - Hodnoty plastu



## 9.2. Výpočet součinitele přestupu tepla

**Reynoldsovo číslo:**

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d_h}{\nu_v} = \frac{0,5 \cdot 0,005}{8,01 \cdot 10^{-5}} = \underline{\underline{3121}}$$

**Tepelná vodivost:**

$$a_v = \frac{\lambda_v}{\rho_v \cdot c_v} = \frac{0,618}{995,7 \cdot 4180} = \underline{\underline{0,148 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}}}$$

**Prandlovo číslo:**

$$\text{Pr} = \frac{\nu_v}{a_v} = \frac{0,801 \cdot 10^{-6}}{0,148 \cdot 10^{-6}} = \underline{\underline{5,4}} \Rightarrow \text{konstanta } C = 0,021$$

**Vyjádření  $\alpha$  pomocí dvou rovnic:**

$$\begin{aligned} Nu &= \frac{\alpha \cdot d_h}{\lambda_v} & \Rightarrow \alpha &= \frac{C \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,43} \cdot \lambda_v}{d_h} \\ Nu &= C \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,43} \end{aligned}$$

**Součinitel přestupu tepla**

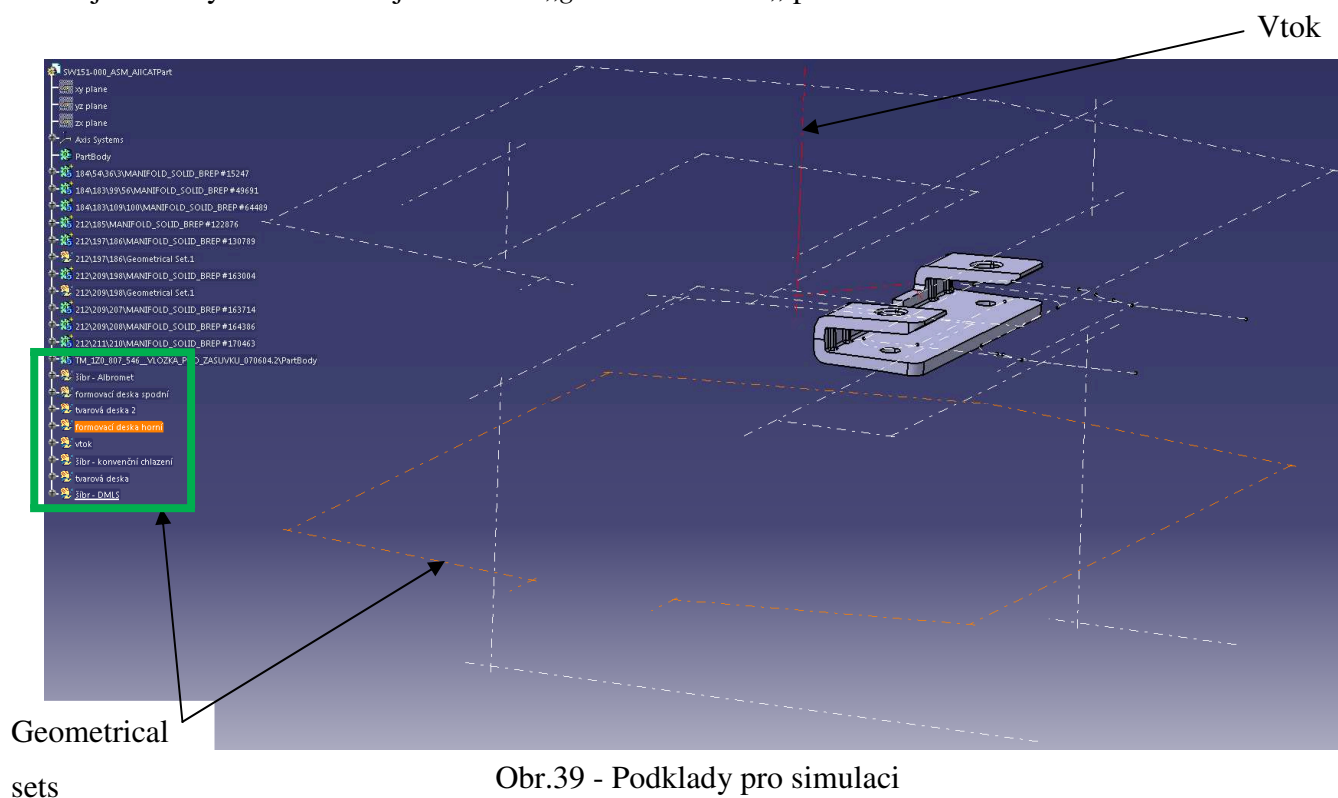
$$\alpha = \frac{C \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,43} \cdot \lambda_v}{d_h} = \frac{0,021 \cdot 3121^{0,8} \cdot 5,4^{0,43} \cdot 0,618}{0,005} = \underline{\underline{3346,6 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}}}$$

## 10. SIMULACE TEČENÍ PLASTU

### 10.1. Podklady

Simulaci tečení plastu jsem prováděl v programu CADMOULD. Nejprve jsem musel v programu CATIA vytvořit podklady, abych je mohl do programu CADMOULD vložit.

Podklad pro simulaci je tedy vymodelovaný výstřik součástky, temperační okruhy a vtok. Vymodelovaný výstřik jsem měl k dispozici od firmy. Temperační okruhy musely být rozděleny do jednotlivých okruhů ve funkci „*geometrical sets*“, a ty dále rozděleny do jednotlivých os děr. Stejně udělám „*geometrical sets*“, pro vtok.



Na obr.39 vidíme podklady vytvořené v programu CATIA. Červenou osou je znázorněná vtoková soustava, bílou osou jsou znázorněny jednotlivé osy děr temperačního okruhu. Oranžovou barvou je znázorněn jeden „*geometrical sets*“, tedy jeden temperační okruh.

## 10.2. Parametry vstřikování

Pro správnost výsledků simulace tečení plastu v programu Cadmould je zapotřebí dodržet stejné parametry vstřikování jako u stávajícího stavu. Stejně parametry vstřikování u mých variant řešení zajistí, že na výsledky simulace bude mít vliv pouze temperační okruh v šíbru, popřípadě šíbr samotný (u varianty změny materiálu).

### 10.2.1. Parametry plastu

Materiál výstřiku: PP Hostacom EKC 33N

Hmotnost:

- Čistá: 0,0054  $\pm 5\%$  kg/sadu
- Spotřební: 0,0074  $\pm 5\%$  kg/tah
- Vtok: 0,002  $\pm 5\%$  kg/tah

### 10.2.2. Forma

Počet otisků: 1 kus

Horké vtoky: NE

Jádra: NE

### 10.2.3. Stroj

Typ: Bat 40/130<sup>S HM</sup>

Uzavírací síla: 400 kN  $\pm 5$  kN

Paměť: Flex Fluel

Chod stroje: Automat

### 10.2.4. Vyhazovače

**Vpřed:**

Rychlost: 50 50 50  $\pm 5$  mm/s

Zdvih: 2 7 12  $\pm 5$  mm

Tlak: 20 20 20  $\pm 5$  bar

**Vpřed:**

Rychlost: 150 150 15  $\pm 5$  mm/s

Zdvih: 15 5 0  $\pm 5$  mm

Tlak: 12 12 12  $\pm 5$  bar

### 10.2.5. Plastikace

<u>Otáčky šneku:</u>	150-150	$\pm 50$ mm/s
<u>Protitlak:</u>	40-40	$\pm 10$ bar

### 10.2.6. Vstřík

<u>Rychlost:</u>	20	15	15	$\pm 2$ cm <sup>3</sup> /s
<u>Tlak:</u>	450	450	450	$\pm 10$ bar
<u>Dráha:</u>	35	25	0	$\pm 20$ cm <sup>3</sup>

### 10.2.7. Dotlak

<u>Tlak:</u>	300	200	$\pm 1$ bar
<u>Doba:</u>	0	2,5	$\pm 20$ s
<u>Přepnutí:</u>		16,0	$\pm 2$ cm <sup>3</sup>

### 10.2.8. Teploty

<u>Tryska:</u>	200	$\pm 5$ °C
<u>Vstřík:</u>	195	$\pm 5$ °C
<u>Dotlak:</u>	180	$\pm 5$ °C
<u>Chlazení:</u>	175	$\pm 5$ °C

### 10.2.9. Časy

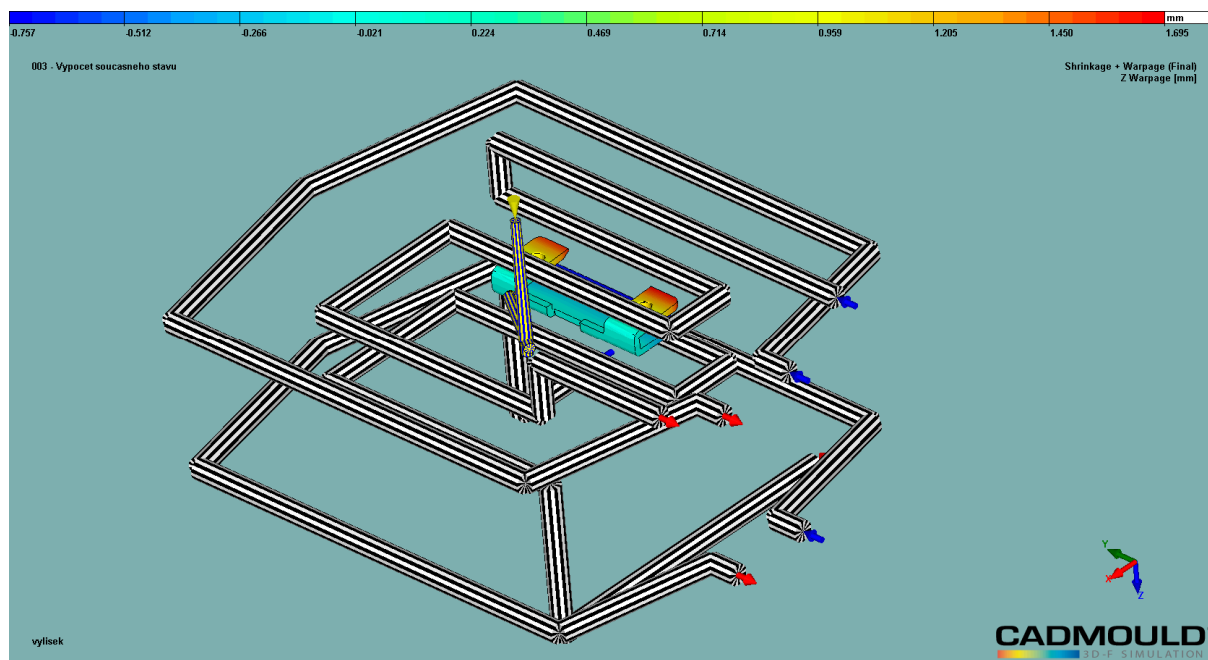
<u>Vstřík:</u>	1,90	$\pm 0,2$ s
<u>Dotlak:</u>	2,5	$\pm 1$ s
<u>Chlazení:</u>	20	$\pm 2$ s
<u>Plastikace:</u>	2,8	$\pm 1$ s
<u>Cyklus stroje:</u>	32	$\pm 2$ s

### 10.2.10. Dávkování

<u>Dávka:</u>	25	$\pm 2$ cm <sup>3</sup>
---------------	----	-------------------------

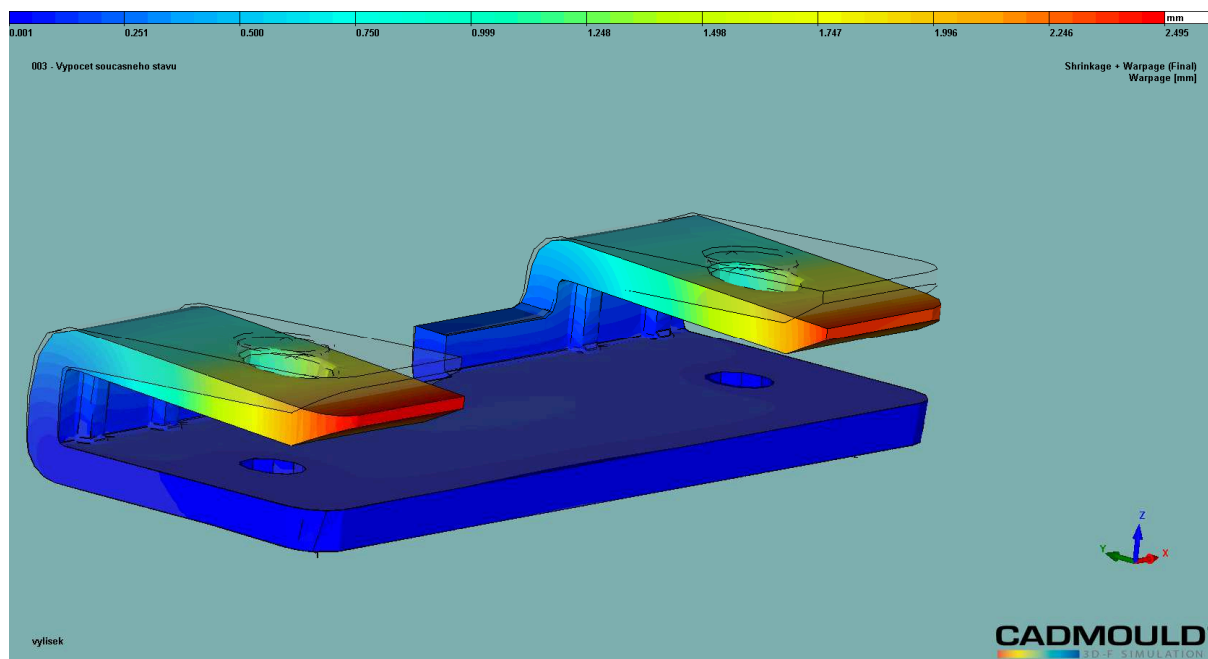
### 10.3. Simulace tečení stávajícího stavu

Jedná se o simulaci tečení stávajícího stavu, tzn. že šíbr není nijak temperován.



Obr.40 - Simulace stávajícího stavu s temperačními kanály

Na obr.40 jsou vidět temperační kanály. Každý temperační okruh má svůj vstup a výstup chladicího média, což je v těchto případech voda.



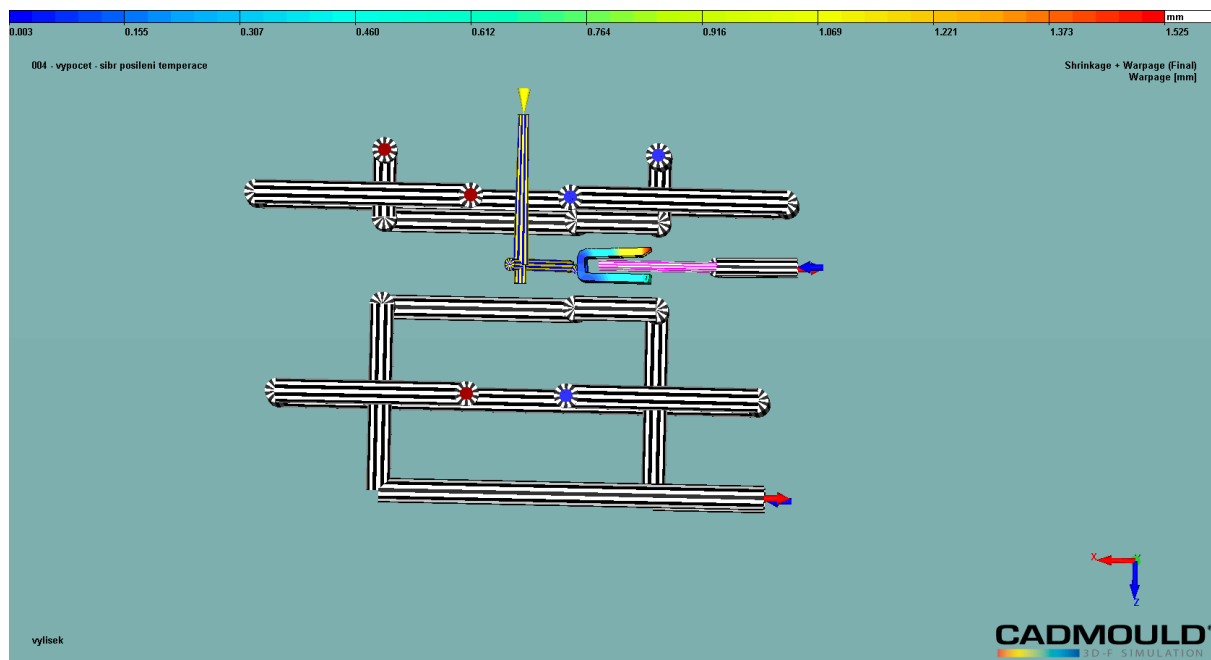
Obr.41 - Výsledek simulace stávajícího stavu

Na obr.41 je vidět výsledek simulace tečení plastu stávajícího stavu bez temperace šíbru. Maximální výchylka od požadovaného stavu je na konci horní části, a činí  $s = 2,495 \text{ mm}$

Na obrázku je také vidět, jak se výlisek zdeformuje a vychýlí od požadovaného stavu, kde tenké čáry znázorňují požadovaný tvar a barevná škála znázorňuje deformaci výlisku. Znázornění této simulace není směrodatné a slouží jenom pro znázornění směru deformace. Směrodatná je barevná část výstřiku a legenda, která je nad součástí.

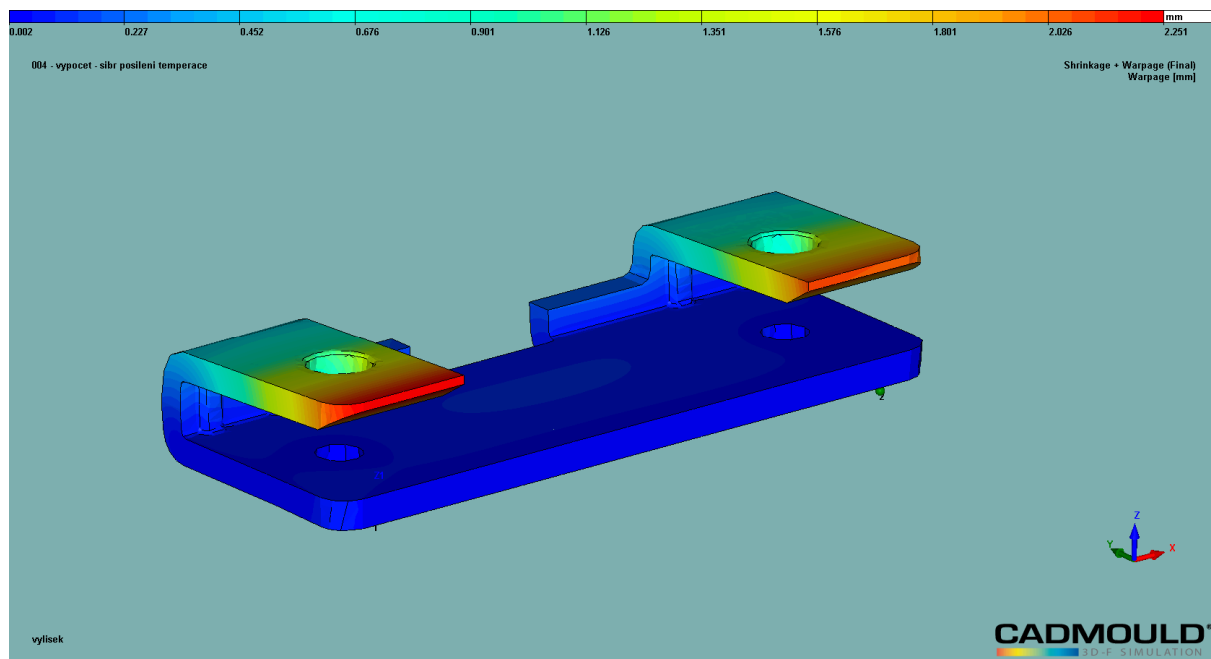
## 10.4. Simulace tečení - konvenční chlazení

Jedná se o simulaci tečení s temperovaným šíbrem konvenčním chlazením.



Obr.42 - Simulace tečení s konvenční temperací šíbru

Ke stávajícím temperačním okruhům byl přidán temperační okruh šíbru s měděnými tyčinkami (viz obr.42), pro lepší odvod tepla. Temperační kanály jsou znázorněné černo-bílými pruhy, vtoková soustava je znázorněna žluto-modrými pruhy a měděné tyčinky růžovo-bílými pruhy.

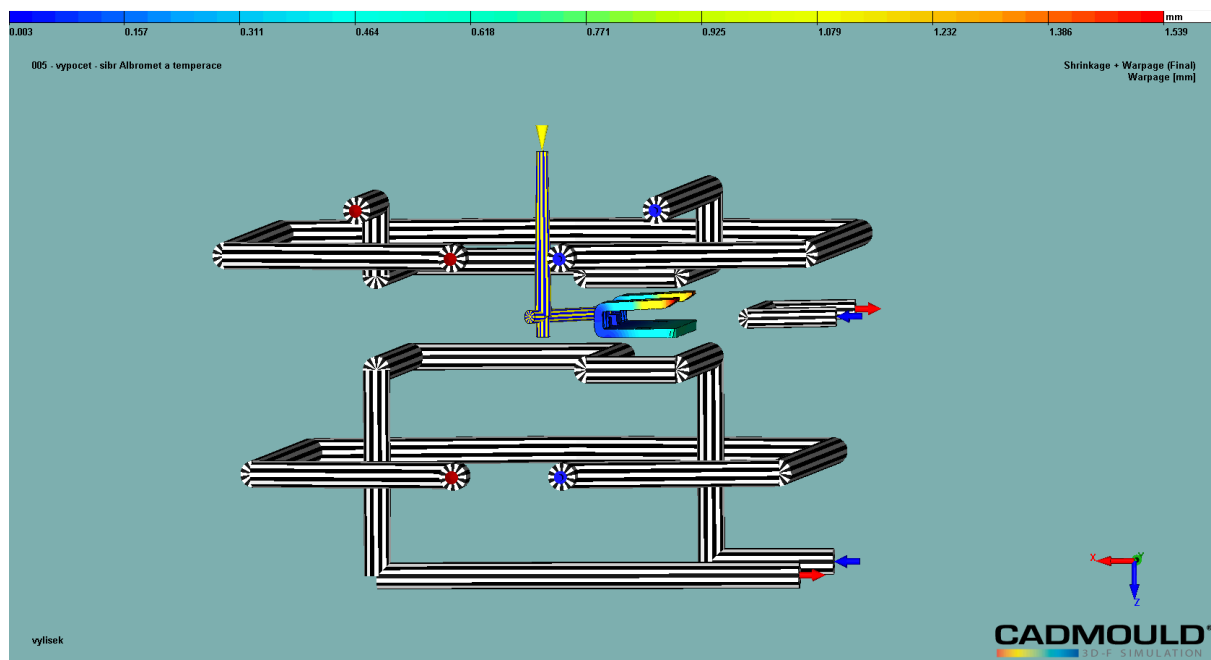


Obr.43 - Výsledek simulace - konvenční temperace šíbru

Na obr.43 je vidět výsledek simulace tečení plastu s konvenční temperací šíbru, kde maximální výchylka od požadovaného stavu je na konci horní části a činní  $s = 2,251$  mm

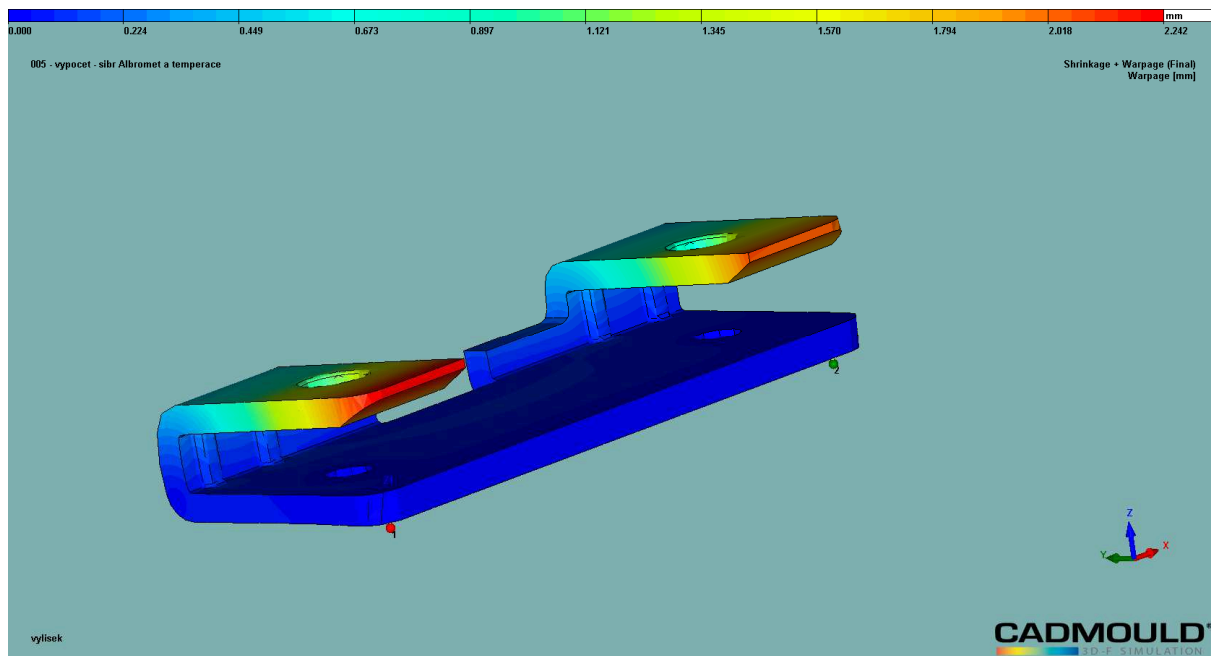
## 10.5. Simulace tečení - změna materiálu šíbru

Jedná se o simulaci tečení, kde je změna materiálu šíbru na Albromet W130 a tento šíbr je doplněn konvenčním chlazením.



Obr.44 - Simulace tečení se změnou materiálu a konvenční temperací šíbru

Na obr.44 je vidět změna temperačního kanálu šíbru. Materiál šíbru je zadán jako Albromet W130, i když není na obrázku vidět.



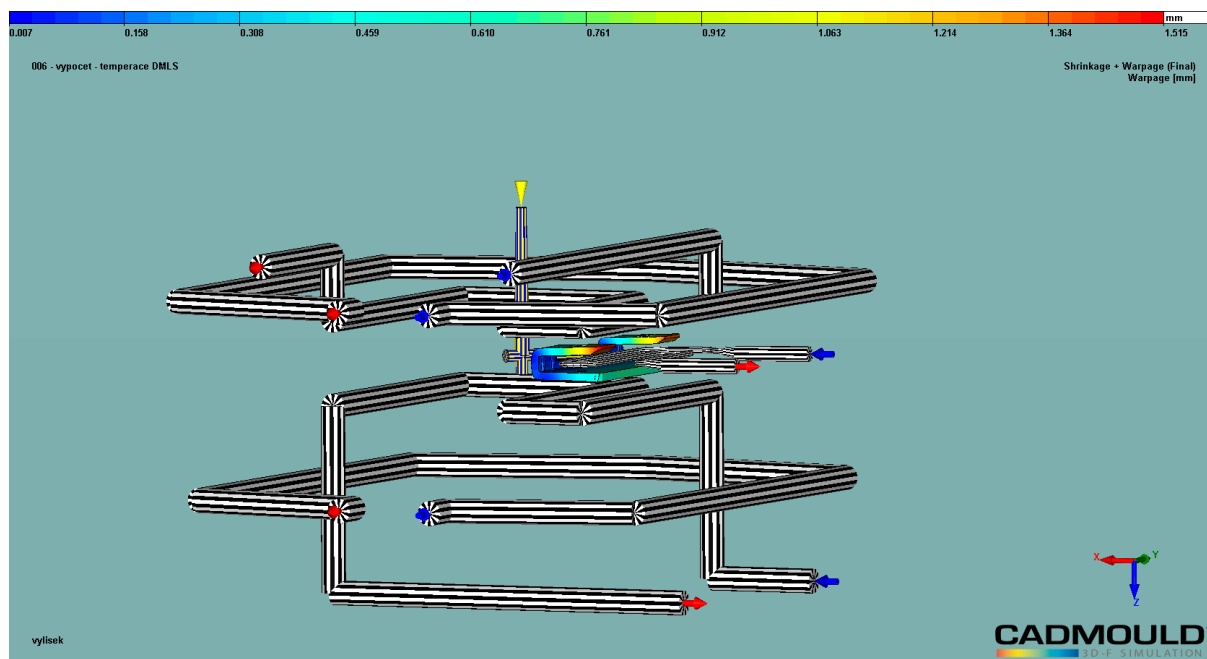
Obr.45 - Simulace tečení se změnou materiálu a konvenční temperací šíbru



Na obr.45 je vidět výsledek simulace tečení plastu se změnou materiálu a konvenční temperací šíbru. Maximální výchylka od požadovaného stavu je na konci horní části, a činí  $s = 2,242$  mm. Je zde vidět pokrok ke zmenšení výchylky.

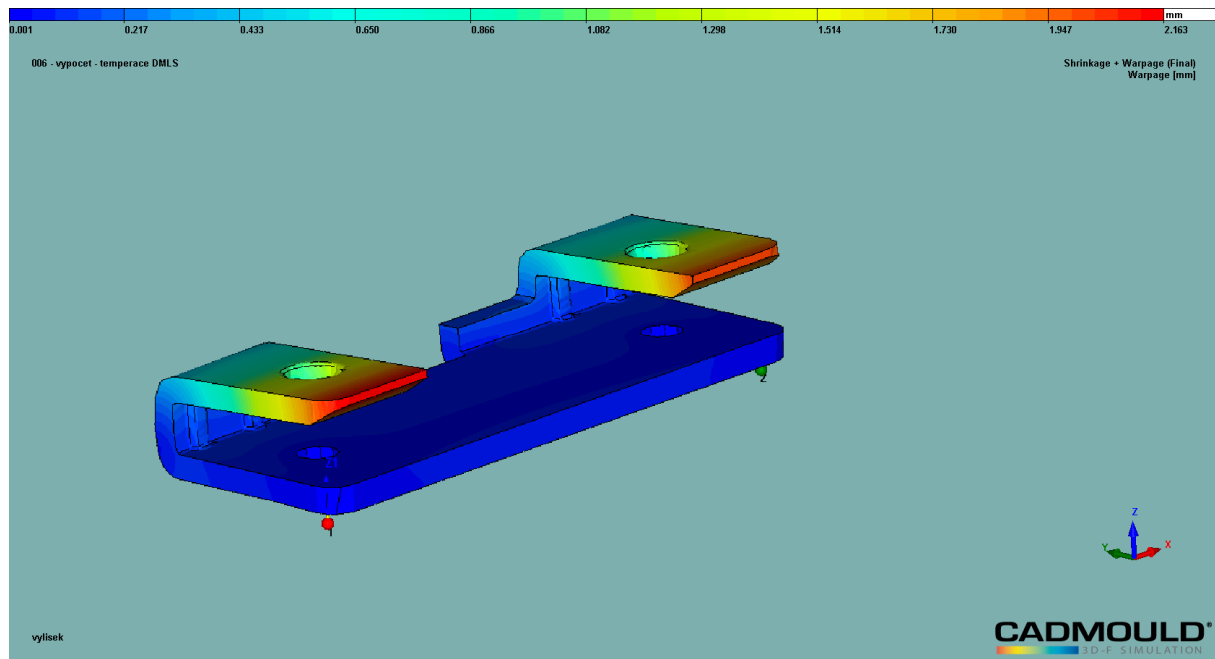
## 10.6. Simulace tečení - metoda DMLS

Jedná se o simulaci tečení plastu, kde je šíbru vyrobený metodou DMLS.



Obr.46 - Simulace tečení plastu se šíbrem vyráběným metodou DMLS

Na obr.46 je vidět změna temperačního okruhu šíbru. Temperační kanál vyráběný metodou DMLS je ovál o rozměrech 1 x 6 mm. Avšak Cadmould není schopen takový kanál vytvořit, proto bylo nutné, aby se kanál přepočítal na průměr kruhového kanálu. Jedná se o přepočet z plochy oválného kanálu na průměr kruhového kanálu. Plocha pro odvod tepla je tedy stejně velká a tak výsledky jsou taky stejné.



Obr.47 - Simulace tečení plastu se šípem vyráběným metodou DMLS

Na obr.47 je vidět výsledek simulace tečení plastu se šfibrem vyráběným metodou DMLS, kde maximální výchylka od požadovaného stavu je na konci horní části, a činí  $s = 2,163$  mm. Je zde vidět maximální pokrok ke zmenšení výchylky.

## 10.7. Vyhodnocení simulací

Z výsledků simulací je vidět, že došlo ke zlepšení deformační výchylky výlisku. Ale i zavedení temperečních okruhů do šíbru nezaručí výchylky deformace menší než 2 mm. To znamená, že vliv tepla na deformaci plastu je minimální. Tato deformace je daná tvarem profilu výlisku, docházet k deformacím tedy bude vždy.

Další postup vede k úpravě dutiny výstřiku tak, že se musí dutina formy již předdeformovat. Předdeformování dutiny nám zaručí, že druhotná deformace výstřiku zdeformuje součást do požadovaného tvaru.

## 11. NÁKLADOVÁ A RIZIKOVÁ ANALÝZA

### 11.1. Nákladová analýza

Náklady jsou počítány podle hodinové sazby za jednotlivé operace a odhadovaným časem výroby. Odhad času výroby je stanoven podle technologického postupu a času výroby původního dílu.

#### 11.1.1. Šíbr - konvenční chlazení

<u>Operace</u>	<u>Počet hodin</u>	<u>Hodinová sazba</u>
Úhlování	2	400,-
Vrtání	3	600,-
Řezání závitů	0,5	450,-
Kalení	...	200,-
Broušení	0,5	500,-
Frézování	1	600,-
Řezání (drátovka)	1,5	700,-
Hloubení	1,5	800,-
Celkem	10 hod.	6125 Kč

#### 11.1.2. Šíbr - Albromet W130

<u>Operace</u>	<u>Počet hodin</u>	<u>Hodinová sazba</u>
Úhlování	2	400,-
Vrtání	3	600,-
Řezání závitů	0,5	450,-
Broušení	1	500,-
Frézování	1,5	600,-
Hloubení	3	800,-
Materiál	...	2000,-
Celkem	11 hod.	8625 Kč

### 11.1.3. Šíbr - DMLS

<u>Operace</u>	<u>Počet hodin</u>	<u>Hodinová sazba</u>
Úhlování	1,5	400,-
Vrtání	2	600,-
Řezání závitů	0,3	450,-
Broušení	0,5	500,-
Frézování	1,5	600,-
Hloubení	2,5	800,-
Metoda DMLS	2,5	9000,-
Celkem	10,8 hod.	27585 Kč

### 11.1.4. Vodící destička

<u>Operace</u>	<u>Počet hodin</u>	<u>Hodinová sazba</u>
Frézování	1	600,-
Vrtání	0,5	600,-
Kalení	....	50,-
Broušení	0,5	500,-
Řezání (drátovka)	0,2	700,-
Celkem	2,2 hod.	1340 Kč

### 11.1.5. Deska tvarová zadní

<u>Operace</u>	<u>Počet hodin</u>	<u>Hodinová sazba</u>
Frézování	2	600,-
Celkem	2 hod.	1200 Kč

### 11.1.6. Opěrný klín

<u>Operace</u>	<u>Počet hodin</u>	<u>Hodinová sazba</u>
Frézování	3	600,-
Vrtání	0,5	600,-

Řezání závitů	0,2	450,-
Celkem	3,7 hod.	2190 Kč

#### 11.1.7. Opěrná destička

<u>Operace</u>	<u>Počet hodin</u>	<u>Hodinová sazba</u>
Frézování	0,5	600,-
Kalení	....	50,-
Broušení	0,2	500,-
Celkem	0,7 hod.	450 Kč

#### 11.1.8. Deska tvarová přední

<u>Operace</u>	<u>Počet hodin</u>	<u>Hodinová sazba</u>
Frézování	1	600,-
Celkem	1 hod.	600 Kč

#### 11.1.9. Opěrná deska

<u>Operace</u>	<u>Počet hodin</u>	<u>Hodinová sazba</u>
Frézování	0,5	600,-
Celkem	0,5 hod.	300 Kč

### 11.2. Riziková analýza

Největší riziko, které hrozí je zanesení chladících kanálů vodním kamenem. Vodní kámen zmenšuje průměr chladícího kanálu, tedy zmenšuje odvod tepla ze šíbru. 1 mm vodního kamene zmenšuje účinnost temperačního systému až o 10 %. Nejhorší případ je tedy u šíbru vyráběného metodou DMLS, kde je nejmenší průměr chladícího kanálu.

## 12. ZÁVĚR

V této práci jsem se zaměřil na úpravu temperačního okruhu tak, abych minimalizoval deformace vzniklé při chladnutí výlisku. Po zjištění problematického místa, které je v ohybu „U“, profilu výstřiku, jsem zjistil, že nejlepším řešením bude zavedení temperačního okruhu do šíbru formy. Navrhnul jsem tři varianty řešení.

První je přivedení konvenčního chlazení (vrtaný kanál). Voda nemohla být zavedena do funkční části šíbru, protože vrtaný kanál potřebuje minimálně 3-5 mm tlustou stěnu, aby nedocházelo k praskání součásti z důvodu teplotních cyklů. Proto jsem přidal měděné tyčinky, které odvádějí teplo z problematického místa do chladicího média, čímž je voda.

Druhou variantou byla změna materiálu šíbru a zavedení konvenčního chlazení. Materiál šíbru je Albromet W130, což je sloučenina Mědi a Beryllia ( $\text{CuBe}_2$ ). Tento materiál má lepší tepelnou vodivost než ocel, tím tedy lépe odvádí teplo z problematického místa. Aby nedošlo k přehřátí šíbru, tak je zde taky temperační okruh, který přebytečné teplo odvádí pryč. Tato varianta má srovnatelný výsledek jako první řešení.

Pro třetí variantu byla použita metoda DMLS (DIRECT METAL LASER SINTERING), která nám umožní zavedení kanálu do funkční části šíbru, protože při výrobě touto metodou stačí tloušťka stěny 2 mm, aby nedošlo k praskání stěny. Tato metoda nám také umožní vytvoření libovolného tvaru temperačního okruhu.

Po vytvoření všech tří variant řešení jsem je podrobil analýze vstřikování v programu CADMOULD. Tato analýza nám ukázala, že dané varianty zmenšují vzniklou deformaci, ale že vliv teploty na deformaci výlisku je minimální. Problém je ve tvaru výlisku. Protože nemůžeme ovlivňovat tvar výlisku, zbývá pouze jedna varianta, jak ovlivnit výsledný tvar výstřiku. Tou je předdeformování výstřiku již v dutině formy. Toto předdeformování nám zaručí, že výsledný tvar součásti bude podle požadavků zákazníka.

Jako nejvhodnější variantu bych zvolil šíbr s konvenčním chlazením a předdeformovanou dutinu formy, protože tato varianta je nejvýhodnější na výrobu z hlediska nákladů, času výroby a problematiky výroby.

## SEZNAM LITERATURY

[1] VUT Brno [online]. 2013 [cit. 2013-6-15]

[http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni\\_soubory/htn\\_tvareci\\_nastroje\\_vstrikovaci\\_formy\\_zak.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy_zak.pdf)

Dostupné z www: <http://ust.fme.vutbr.cz>

[2] KSP TUL [online]. 2013 [cit. 2013-6-15]

[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/tzn/c8/VS.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c8/VS.pdf)

Dostupné z www: <[www.ksp.tul.cz](http://www.ksp.tul.cz)>.

[3] KSP TUL [online]. 2013 [cit. 2013-6-15]

[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/tzn/c6/TS.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c6/TS.pdf)

Dostupné z www: <[www.ksp.tul.cz](http://www.ksp.tul.cz)>.

[4] Innomia[online]. 2013 [cit. 2013-6-15]

<http://www.innomia.cz/sluzby/konformni-chlazení#doprava>

Dostupné z www: <[www.innomia.cz](http://www.innomia.cz)>.

[5] DMLS [online]. 2013 [cit. 2013-6-15] <http://www.dmls.cz/>

Dostupné z www: <[www.dmls.cz](http://www.dmls.cz)>.

## SEZNAM ONLINE KATALOGŮ

(1) Meusburger [online]. 2014 [cit. 2014-4-17]

[http://ecom.meusburger.com/e\\_menu/index.asp?set\\_gruppe=9&rnd=93344](http://ecom.meusburger.com/e_menu/index.asp?set_gruppe=9&rnd=93344)

Dostupné z www: <<http://www.meusburger.com/domu-aktualne>>.

(2) Ermanno Balzi [online]. 2014 [cit. 2014-4-17]

<http://www.ermannobalzi.com/en/cooling/external-plug.html>

Dostupné z www: < <http://www.ermannobalzi.com>>.

(3) Ancora Praha [online]. 2014 [cit. 2014-4-17]

[http://www.ancorapraha.cz/wp-content/uploads/ALBRO-TECH\\_LISTY-CJ1.pdf](http://www.ancorapraha.cz/wp-content/uploads/ALBRO-TECH_LISTY-CJ1.pdf)

Dostupné z www: < <http://www.ancorapraha.cz>>.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr.1. Vstřikovací forma – Popis hlavních částí
- Obr.2.Vtoková soustava
- Obr.3.Symetrické uspořádání
- Obr.4.Řadové uspořádání
- Obr.5. Temperační okruhy
- Obr.6. Klasicky vrtaný chladicí okruh
- Obr.7. Komfortní chlazení
- Obr.8. Princip DLMS
- Obr.9 – Sestavení tvarové vložky, šíbru, výlisku
- Obr.10 – Výlisek
- Obr.11 – Výlisek
- Obr.12– Chladicí kanál Tvarové vložky zadní
- Obr.13 – Chladicí kanál Tvarové vložky zadní
- Obr.14 – Chladicí kanál Tvarové vložky přední
- Obr.15 - Šíbr
- Obr.16 - Požadovaný tvar profilu
- Obr.17 - Skutečný tvar profilu
- Obr.18 - Porovnání požadovaného tvaru a vylisovaného
- Obr.19 - Funkční struktura - Hierarchické uspořádání
- Obr.20 - Funkční struktura - Blokové uspořádání
- Obr.21 - Konvenční chlazení šíbru
- Obr.22 - Změna materiálu a konvenční chlazení šíbru
- Obr.23 - DMLS metoda chlazení šíbru
- Obr.24 - Celá Vstřikovací forma
- Obr.25 - Šíbr konvenčního chlazení
- Obr.26 - Šíbr konvenčního chlazení - řez
- Obr.27 - Umístnění šikmého kolíku, desky tvarové a tvarové vložky vůči šíbru
- Obr.28 - Vodící destička
- Obr.29 - Deska tvarová zadní (horní pohled)
- Obr.30 - Deska tvarová zadní (dolní pohled)
- Obr.31 - Opěrný klín, Opěrná destička



Obr.32 - Deska tvarová přední  
Obr.33 - Opěrná deska  
Obr.34 - Šíbr - Albromet  
Obr.35 - Šíbr - Albromet - řez  
Obr.36 - Šíbr - DMLS  
Obr.37 - Šíbr - Barevné rozlišení metod výroby  
Obr.38 - Řez šíbru - profil kanálů  
Obr.39 - Podklady pro simulaci  
Obr.40 - Simulace stávajícího stavu s temperačními kanály  
Obr.41 - Výsledek simulace stávajícího stavu  
Obr.42 - Simulace tečení s konvenční temperací šíbru  
Obr.43 - Výsledek simulace - konvenční temperace šíbru  
Obr.44 - Simulace tečení se změnou materiálu a konvenční temperací šíbru  
Obr.45 - Simulace tečení se změnou materiálu a konvenční temperací šíbru  
Obr.46 - Simulace tečení plastu se šíbrem vyráběným metodou DMLS  
Obr.47 - Simulace tečení plastu se šíbrem vyráběným metodou DMLS

## **SEZNAM TABULEK**

Tab.1 - Morfologická matice  
Tab.2 - Orgánová struktura  
Tab. 3 - Hodnoty oceli  
Tab. 4 - Hodnoty vody  
Tab. 5 - Hodnoty plastu

## **SEZNAM PŘÍLOH**

1 – Výkresová dokumentace  
2 – datový nosič CD